

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр Коваль

«__» _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Програмне забезпечення веб-технологій
та мобільних пристроїв»**

спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»

**на тему: «Автоматична система розрахунку захисного екрану на основі
залізорудного пилу із заданими властивостями»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ТІ-61

Козачук Анна Дмитрівна

Керівник:

доцент кафедри АПЕПС ТЕФ, к.т.н, доцент,

Ходаковський Олексій Володимирович

Консультант з аналізу проблеми розрахунку і створення автоматичної
системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу
із заданими властивостями:

зав.каф. ЦПБ ФЕБІТ НАУ, д.т.н, професор,

Глива Валентин Анатолійович

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Факультет теплоенергетичний

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

Рівень вищої освіти перший рівень

Напрямок підготовки: 121 Інженерія програмного забезпечення

Спеціалізація: Програмне забезпечення веб-технологій та мобільних пристроїв

ЗАТВЕРДЖУЮ 2020р.

Завідувач кафедри

_____ Олександр Коваль
(підпис)

” ____ ” _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Козачук Анні Дмитрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматична система розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями

керівник роботи Ходаковський Олексій Володимирович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від ”25” травня 2020р. № **1168-с**

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2020р.

3. Вихідні дані до роботи Visual Studio, C#, C, MySQL, XAMPP

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1) обґрунтування актуальності розробки автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями;
- 2) аналіз вимог до програмного продукту;

- 3) розробка програмного забезпечення;
- 4) інструкція користувача для роботи з системою.

5. Перелік ілюстративного матеріалу

Схема установки для ультразвукової обробки металополімерної суміші. Екранування магнітного поля наднизької частоти захисними матеріалами. Залежність коефіцієнта екранування металополімерного матеріалу від концентрації металевої субстанції та її дисперсності. Залежність коефіцієнта відбиття металополімерного матеріалу від концентрації металевої субстанції та її дисперсності. Градієнт металовмісної компоненти у полімерній матриці. Карти Парето. Симплекс-метод. Траєкторія руху до оптимуму при використанні модифікації Симплекс-методу. Результати роботи програми.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Глива Валентин Анатолійович зав.каф. ЦПБ ФЕБІТ НАУ, д.т.н, професор,		

7. Дата видачі завдання "11" жовтня 2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1.	Затвердження теми роботи	11.10.2019	
2.	Вивчення та аналіз задачі	11.10.2019 – 2.02.2020	
3.	Розробка архітектури та загальної структури системи	3.02.2020 – 1.03.2020	
4.	Розробка структур окремих підсистем	2.03.2020 –	

		5.04.2020	
5.	Програмна реалізація системи	6.04.2020 — 17.05.2020	
6.	Оформлення пояснювальної записки	18.05.2020 — 7.06.2020	
7.	Захист програмного продукту	9.06.2020	
8.	Передзахист	9.06.2020	
9.	Захист		

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали,)

Керівник роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали,)

АНОТАЦІЯ

Дана дипломна робота присвячена розробці автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями.

Мета роботи: розробити програмний продукт, який на основі введених даних, розраховує захисний екран на основі залізорудного пилу із заданими властивостями і виводить результат на екран у вигляді дво- або трьохвимірних графіків.

Використано середовище розробки Microsoft Visual Studio, мови програмування C# та C, система керування базами даних MySQL та веб-сервер XAMPP.

Створено графічний інтерфейс програмного продукту. Реалізовано модулі програмної системи. Проведено апробацію створеної програми.

Загальний обсяг роботи: 82 сторінки, 26 рисунків, 21 формулу, 1 таблицю, 40 посилань, 3 додатки.

Ключові слова: захисний екран, електромагнітна енергія, електромагнітне поле, залізорудний пил, коефіцієнт екранування, латекс, критичні засоби інформаційної інфраструктури.

ABSTRACT

This thesis is devoted to the development of an automatic system for calculating the protective screen based on iron ore dust with specified properties.

Purpose: to develop a software product that, based on the entered data, calculates a protective screen based on iron ore dust with the specified properties and displays the result on the screen in the form of two- or three-dimensional graphs.

Microsoft Visual Studio development environment, C # and C programming languages, MySQL database management system and XAMPP web server were used.

The graphical interface of the software product is created. Implemented software system modules. The created program was tested.

Total volume of work: 82 pages, 26 figures, 21 formulas, 1 table, 40 references, 3 appendices.

Key words: protective screen, electromagnetic energy, electromagnetic field, iron ore dust, shielding coefficient, latex, critical means of information infrastructure.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1. ЗАДАЧА ПО РОЗРОБЦІ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	14
2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗРАХУНКУ І СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	18
3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	34
3.1 Проектування системи.....	34
3.1.1 Розробка математичної моделі системи	34
3.1.2 Розробка діаграми прецедентів	44
3.2 Засоби розробки	47
3.3 Аналіз вимог до функціонального забезпечення програми.....	52
3.4 Вимоги до програмно-технічного забезпечення	54
4. РОБОТА КОРИСТУВАЧА З ПРОГРАМНОЮ СИСТЕМОЮ	55
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТОК 1	65
ДОДАТОК 2	67
ДОДАТОК 3	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ООП	— об'єктно-орієнтоване програмування
ОС	— операційна система
ПЕМВН	— побічні електромагнітні випромінювання і наводки
СУБД	— система управління базами даних
C	— універсальна, процедурна, імперативна мова програмування загального призначення
C#	— об'єктно-орієнтована мова програмування з безпечною системою типізації для платформи .NET
ER-модель (англ. Entity-relationship model або entity- relationship diagram)	— модель даних, яка дозволяє описувати концептуальні схеми за допомогою узагальнених конструкцій блоків
GUI (Graphical user interface)	— графічний інтерфейс користувача. Тип інтерфейсу, який дає змогу користувачам взаємодіяти з електронними пристроями через графічні зображення та візуальні вказівки
IDE (Integrated development environment)	— інтегроване середовище розробки
Java	— об'єктно-орієнтована мова програмування, випущена 1995 року компанією «Sun Microsystems» як основний компонент платформи Java
MySQL	— вільна система керування реляційними базами даних.
Python	— інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією

QT	– крос-платформовий інструментарій розробки програмного забезпечення (ПЗ) мовою програмування C++
Swing	– інструментарій для створення графічного інтерфейсу користувача (GUI) мовою програмування Java
UML (Unified Modeling Language)	– уніфікована мова моделювання, використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування
XAMPP	– безкоштовна багатоплатформова збірка веб-сервера з відкритим початковим кодом
Гармоніки	– коливання, частоти яких кратні основній частоті складного коливання
Геомagnetне поле	– силове поле, виникнення якого зумовлене джерелами, що знаходяться в земній кулі та навколоземному просторі
Гістерезис	– неоднозначна залежність зміни фізичної величини, яка характеризує стан або властивість тіла, від зміни фізичної величини, що характеризує зовнішні умови
Дисперсність	– характеристика розмірів часток дисперсної фази у дисперсних системах
Екранування	– захист апаратів, приладів, машин від зовнішніх впливів (найчастіше електричного, магнітного та електромагнітного полів)
Електромагнітна енергія	– вид енергії, що існує у вигляді потенціальної енергії електричного й магнітного полів та енергії електричного струму
Електромагнітна сумісність	– здатність радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу ненавмисних радіозавад і не створювати неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам

Електромагнітна хвиля	– процес розповсюдження електромагнітної взаємодії в просторі у вигляді змінних зв'язаних між собою електричного та магнітного полів
Електромагнітне поле	– це поле, яке описує електромагнітну взаємодію між фізичними тілами
Захисний екран	– пристрій, поверхня якого поглинає, перетворює або відбиває випромінювання різних видів енергії
Квазістаціонарний процес	– процес, швидкість поширення якого в обмеженій системі така велика, що за час, який потрібен для поширення процесу в межах усієї системи, стан його помітно змінитися не встигає.
Композиційні матеріали (композити)	– матеріали з новим корисним комплексом фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, утворені поєднанням двох і більше компонентів, які мають межі розподілу та різняться хімічним складом, структурою і фізико-хімічними характеристиками
Магнітна проникність	– характеристика магнітних властивостей матеріалу, в якому магнітна індукція лінійно залежить від напруженості магнітного поля
Питомий опір	– питома фізична величина, яка кількісно характеризує здатність речовини створювати опір проходженню електричного струму
Пористість	– наявність порожнин (пор) у тілі (середовищі)

ВСТУП

Дослідження та прикладні розробки у галузі електромагнітної безпеки довели, що найбільш ефективним засобом поліпшення електромагнітної обстановки є екранування. Захист працюючих у виробничому середовищі від негативного впливу електромагнітних полів та підвищення нормативного рівню електромагнітної сумісності технічних засобів забезпечують сучасні екрануючі матеріали різного класу. На жаль, у деяких випадках, в умовах щільного розміщення приладів, в перенавантаженому магнітному середовищі, спостерігається нестабільна робота чутливих електричних та електронних приладів.

Результати наукових та експериментальних досліджень в цьому напрямку стосуються найчастіше конкретного виробничого середовища, або електромагнітного впливу визначеної частоти чи частотного діапазону.

Розроблення цілісної системи з електромагнітної безпеки на виробництві робочого місця, приміщення або будівлі в цілому має вирішувати одночасно багато задач, пов'язаних з різними процесами технічного та методологічного характеру.

Термін ПЕМВН, з'явився в кінці 60-х-початку 70-х років минулого століття при розробці методів запобігання витоку інформації через різного роду демаскуючі і побічні випромінювання електронного та електромеханічного обладнання, радіозасобів, електричних приладів. У Європі та Канаді застосовується термін „compromising emanation” – компрометуюче випромінювання. В Америці застосовується термін „TEMPEST” [1]. Захист інформації від витоку через ПЕМВН здійснюється із застосуванням пасивних і активних методів й засобів. Одним з найбільш ефективних пасивних методів захисту від ПЕМВН є екранування. Процеси і явища, що утворюють ПЕМВН, по способам виникнення можна розділити на 4 види: непередбачений функціями радіозасобів і електричних приладів перетворення зовнішніх акустичних сигналів в електричні сигнали; паразитні зв'язки і наведення; побічні високочастотні випромінювання і побічні низькочастотні випромінювання.

Перші три види характерні обладнанню, яке розташовано в серверних, переговорних і приміщеннях, де встановлені автоматизовані системи управління. І в цих умовах застосовують, як активні методи захисту (створення маскувальних просторових електромагнітних завад і т.д.), так і пасивні, основним з яких є спеціальне екранування комп'ютерних приміщень. Аналіз літератури показав, що дані види захистів мало вивчені [1-4].

Найбільшу загрозу безпеці інформації створюють побічні випромінювання радіо- і електротехнічними засобами низькочастотних електромагнітних полів, що містять інформацію, властиво більшості електротехнічного устаткування. Джерелами випромінювань можуть бути ланцюги, що містять статичні або динамічні заряди (електричний струм), в інформаційні параметри яких тим чи іншим способом записується інформація, що захищається. Носії інформації, що захищається, у вигляді статичних або динамічних зарядів можуть потрапляти в ці ланцюги безпосередньо, якщо ці ланцюги беруть участь в обробці, передачі і зберіганні інформації яка захищається, або самі елементи ланцюгів мають властивості акустико електричних перетворювачів, або опосередковано, коли небезпечні сигнали проникають в ланцюги, які випромінюють, через паразитні зв'язки [4].

У свою чергу електромеханічне обладнання, якому притаманні низькочастотні магнітні поля, часто встановлено в технічних приміщеннях (компресорних, насосних, вентиляторних) [4], де застосування активних методів захисту та використання загального екранування досить проблематично з технічного боку і фінансово витратним, в зв'язку з великою площею.

До ланцюгів, які мають вихід за межі контрольованої зони і в які можуть проникнути небезпечні сигнали через паразитні зв'язку будь-яких видів, також відносяться ланцюги електроживлення. І якщо кабельні лінії електроживлення в технологічних приміщеннях прокладені в ізоляційних корпусах, які зменшують ймовірність витоку інформації, то в місцях підключення до комп'ютерного обладнання, наприклад протидимної вентиляції, аварійного водовідливу та інших систем безпеки, така ймовірність значна.

Тому актуальною проблемою є вдосконалення технологій виготовлення

композиційних матеріалів у напрямі зниження витрат компонентів великої вартості. При цьому матеріали повинні мати фізичні характеристики, прийнятні для практичного застосування (вага, товщина, тощо) і бути придатними для раціонального застосування в умовах впливу електромагнітних полів різного походження.

Виходячи з вищевикладеного, розглядаєма нами задача по розробці автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилю із заданими властивостями є дуже актуальною на сьогоднішній день.

У зв'язку з тим, що матеріал, а саме захисний екран на основі залізорудного пилю є новим і технологія його виробництва проходить зараз випробування, подібних задач раніше ніким вирішено не було, тобто розроблене програмне забезпечення є унікальним.

1. ЗАДАЧА ПО РОЗРОБЦІ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Дослідження та прикладні розробки у галузі електромагнітної безпеки довели, що найбільш ефективним засобом поліпшення електромагнітної обстановки є екранування. Захист працюючих у виробничому середовищі від негативного впливу електромагнітних полів та підвищення нормативного рівню електромагнітної сумісності технічних засобів забезпечують сучасні екрануючі матеріали різного класу. На жаль, у деяких випадках, в умовах щільного розміщення приладів, в перенавантаженому магнітному середовищі, спостерігається нестабільна робота чутливих електричних та електронних приладів.

Результати наукових та експериментальних досліджень в цьому напрямку стосуються найчастіше конкретного виробничого середовища, або електромагнітного впливу визначеної частоти чи частотного діапазону.

Розроблення цілісної системи з електромагнітної безпеки на виробництві робочого місця, приміщення або будівлі в цілому має вирішувати одночасно багато задач, пов'язаних з різними процесами технічного та методологічного характеру.

Відомо, що екранування електромагнітних полів та випромінювань відбувається як за рахунок поглинання електромагнітної енергії, так і за відбиття електромагнітної хвилі, що не завжди враховується на практиці. Поглинання електромагнітної енергії завжди дає позитивний ефект, а відбиття електромагнітної хвилі за межі об'єкта, що захищається, може значно погіршити електромагнітні нормативні значення у місцях перебування працюючих або чутливих електронних приладів. Іноді погіршується електромагнітне середовище і всередині об'єкта, якщо є внутрішні джерела випромінювань. У зв'язку із введенням міжнародних стандартів електромагнітної сумісності, процес захисту екрануванням ускладнюється.

Найбільшу загрозу безпеці інформації створюють побічні випромінювання радіо- і електротехнічними засобами низькочастотних електромагнітних полів, що містять інформацію, властиво більшості електротехнічного устаткування. Джерелами випромінювань можуть бути ланцюги, що містять статичні або динамічні заряди (електричний струм), в інформаційні параметри яких тим чи іншим способом записується інформація, що захищається. Носії інформації, що захищається, в вигляді статичних або динамічних зарядів можуть потрапляти в ці ланцюги безпосередньо, якщо ці ланцюги беруть участь в обробці, передачі і зберіганні інформації що захищається, або самі елементи ланцюгів мають властивості акустико електричних перетворювачів, або опосередковано, коли небезпечні сигнали проникають в ланцюги, які випромінюють, через паразитні зв'язки [5].

У свою чергу електромеханічне обладнання, якому притаманні низькочастотні магнітні поля, часто встановлено в технічних приміщеннях (компресорних, насосних, вентиляторних) [5], де застосування активних методів захисту та використання загального екранування досить проблематично з технічного боку і фінансово витратним, в зв'язку з великою площею.

До ланцюгів, які мають вихід за межі контрольованої зони і в які можуть проникнути небезпечні сигнали через паразитні зв'язку будь-яких видів, також відносяться ланцюги електроживлення. І якщо кабельні лінії електроживлення в технологічних приміщеннях прокладені в ізоляційних корпусах, які зменшують ймовірність витоку інформації, то в місцях підключення до комп'ютерного обладнання, наприклад протидимної вентиляції, аварійного водовідливу та інших систем безпеки, така ймовірність значна.

Найбільш перспективним є розроблення електромагнітних екранів з переважним поглинанням електромагнітної енергії (малими коефіцієнтами відбиття) для електромагнітної сумісності електронного обладнання).

Питання з електромагнітної сумісності технічних засобів також потребують окремої уваги.

На сьогоднішні час найбільш ваговою задачею є електромагнітна безпека та електромагнітна сумісність технічних засобів у магнітному середовищі.

Поняття захисту інформації є комплексним, а реалізація її складається з багатьох частин, таких як спеціалізоване програмне забезпечення, апаратні засоби захисту, людський фактор, нормативне забезпечення та інше.

В умовах, що склалися найбільш ефективним, довговічним, абсолютно нешкідливим і надійним способом захисту від даних видів загроз є спеціальне екранування комп'ютерних приміщень, установок електронної техніки та електротехнічного обладнання [6, 7].

Норми та технічні вимоги щодо електромагнітної сумісності забезпечують стабільність функціонування засобів обчислювальної техніки, автоматизованих систем та комплексу працезохоронних заходів. Причиною є нестабільність роботи технічних засобів, що є чинником опосередкованого негативного впливу електромагнітних полів та випромінювань.

Вдосконалення технології виготовлення металополімерних матеріалів для екранування електромагнітних полів та дослідження їх захисних властивостей щодо полів наднизьких та ультрависоких частот є досить важливою задачею сучасності.

Тому, для полегшення розрахунків матеріалу у відповідності до вимог замовника була поставлена задача щодо розробки програмного продукту, який автоматично розраховує параметри екрану за обраними характеристиками та видає результати у вигляді графіків (дво- або тривимірних).

Розроблений продукт повинен мати у собі:

- авторизацію користувача;
- модуль вибору необхідних вхідних параметрів;
- модуль розрахунків;
- модуль пошуку оптимумів у графіках модифікованим симплекс методом;
- модуль побудови графіки за обчисленими даними.

В процесі розробки автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1) проаналізувати потребу даної системи;

- 2) проаналізувати основі вимоги до функціонального забезпечення програми;
- 3) сформувати алгоритм роботи програми;
- 4) побудувати діаграму прецедентів;
- 5) розробити форми інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для користувача;
- 6) розробити структуру вихідних файлів;
- 7) порівняти можливості мов програмування та середовищ програмування для реалізації програмного додатку;
- 8) виконати написання програмного коду;
- 9) сформувати документацію та базу знань для допомоги роботи користувачів.

2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗРАХУНКУ І СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Розробленню та дослідженню захисних властивостей матеріалів для екранування електромагнітних полів приділяється багато уваги. Це можна пояснити підвищенням електромагнітного навантаження на виробниче середовище (обладнання, персонал) та довкілля. Зокрема, спостерігається тенденція збільшення амплітуд та розширення частотного спектра електромагнітних полів. У таких умовах традиційні металеві магнітні екрани мають суттєві недоліки – відсутність керованості захисними властивостями, великі коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль та у багатьох випадках надлишковість коефіцієнтів екранування. У сучасних умовах, поряд із захистом людей та електронного обладнання від впливу електромагнітних полів, необхідним є забезпечення безперебійного функціонування засобів бездротового зв'язку. Небажаним також є екранування природного геомагнітного поля. Тому найбільш перспективними засобами захисту є композиційні матеріали. Їх перевагами є керованість коефіцієнтами екранування за рахунок зміни концентрацій екрануючої субстанції у матеріалі основи (тканини або полімеру) та товщини матеріалу. Але головною проблемою є складність технології виготовлення композитів та їх висока вартість, що є проблемою для практичного застосування таких матеріалів для облицювання поверхонь великих площ та серійного вироблення з них спеціального захисного одягу.

У галузі створення матеріалів для захисту від електромагнітних полів є два напрями – екрани для зниження рівнів полів наднизьких частот та для зниження рівнів електромагнітних випромінювань дуже високих і вищих частот. Низькочастотні екрани виготовляють, в основному, з металів. У дослідженні [2] запропоновано ґратчастий екран для нормалізації магнітних полів ліній

електропередач. Такий екран ефективний тільки для квазістаціонарного поля промислової частоти і повинен мати великі розміри. Для більш високих частот розміри комірок сітки повинні відповідати одній довжині хвилі. Такі екрани придатні для блокування монохромного випромінювання. Більшість суцільних електромагнітних екранів є композитними. Але вони мають конкретні призначення. Наприклад, у роботі [3] запропоновано екран для зниження рівнів електромагнітних полів персональних комп'ютерів. Комп'ютери мають визначений діапазон частот генерованого електромагнітного поля, яке має жорсткі обмеження за амплітудою (інтегральне значення). Тому такий екран неприйнятний для інших застосувань. Це ж стосується електромагнітного екрана для поглинання електромагнітного випромінювання мобільних телефонів [1].

Дослідження останніх років довели, що ефективність екранування зростає з підвищенням дисперсності металевих частинок у композитному матеріалі [6]. Цей екран виготовлений на основі заліза нанорозмірів у вигляді магнітної рідини. Вартість магнітної рідини дуже висока, тому її недоцільно використовувати для вироблення екрануючих поверхонь великих площ.

Досліджено можливості виготовлення екрануючих поверхонь з нанокompозитів на основі карбону [6]. Але технологія вироблення таких матеріалів дуже складна, тому його вартість висока. При цьому за малих товщин (2–3 мм) ефективність недостатня (коефіцієнт екранування (1,1–1,3)). Найбільш прийнятний електромагнітний екран на основі пилу залізної руди та латексу [7]. Його перевага – у широкому діапазоні екранування електромагнітного поля. Але його ефективність критично залежить від розміру металевих частинок, а тіло екрана (полімерна матриця) досить щільна для поглинання механічних хвиль (недостатня пористість).

Міжнародні вимоги електромагнітної безпеки [2] передбачають забезпечення персоналу, який працює в умовах впливу електричних, магнітних та електромагнітних полів засобами колективного та індивідуального захисту. У обов'язковому додатку до цього документу обґрунтовано необхідність застосування захисних заходів з медичної точки зору та надано чинні гранично допустимі рівні полів в усіх діапазонах частот. Процес вдосконалення і створення матеріалів для

екранування електромагнітних полів обов'язково повинен враховувати сучасні техногенні тенденції змін спектра і величини електромагнітного навантаження на організм людини. Особливо відчутне збільшення частки мобільного зв'язку у довкіллі та промислової частоти у виробничому середовищі. Актуальність цього питання першочергово зумовлює частотний діапазон експериментальних досліджень [3]. На сьогоднішній день найбільш перспективними матеріалами для захисту від електромагнітних полів є композити. Більшість з них є полімерами з вмістом екрануючої субстанції – металів, феритів, карбону. У роботі [1] досліджено ефективність матеріалу з полімерною матрицею та рівномірно розподіленими у ній феритовими частинками. Недоліком такого матеріалу є недостатня ефективність у високочастотній частині електромагнітного спектра. Неефективність щодо електромагнітного поля промислової частоти обумовлена великими розмірами екрануючих частинок. Широкодіапазонний екран [4] виготовлено з целюлози зі вмістом вологи, але така конструкція схильна до деградації у процесі експлуатації через втрату води. Відомо, що ефективність екранування як низькочастотних, так і високочастотних електромагнітних полів зростає з підвищенням дисперсності екрануючого наповнювача. У дослідженні й розробці [6] наповнювачем є нанокарбон. Але вартість такого матеріалу дуже велика для облицювання поверхонь, а для вироблення одягу непридатна полімерна основа. Це ж стосується і дослідження [5], в якому основою нанокомпозиту є поліпропілен. Перспективним є насичення волокон матеріалу феромагнітними наночастинками, що теоретично обґрунтовано у [5], але не надано експериментальних даних. Відомо, що вплив магнітного поля на феромагнітні матеріали сприяє якості механічної обробки й ізотропності структури [8]. При цьому можливо керування формою петлі гістерезису, що дуже важливо для підвищення ефективності магнітних екранів щодо магнітних полів наднизьких частот, в основному промислової частоти та її гармонік. У роботі [9] реалізовано імплантацію наночастинок у волокна просоченої магнітною рідиною тканини під впливом постійного магнітного поля. Але при вимиванні з матеріалу поверхнево-активної речовини – олеїнової кислоти виявилися значні втрати екрануючих наночастинок. Враховуючи велику вартість магнітної рідини, необхідним є

вдосконалення технології магнітної обробки матеріалу. Захисні конструкції на текстильній основі без додавання полімерів придатні для вироблення засобів індивідуального захисту [9]. Але для засобів колективного захисту – облицювання стінових та стельових поверхонь, екранування окремих електричних та електронних пристроїв найбільш ефективними є металополімерні матеріали. У роботі [10] показано, що додавання у процесі виготовлення латексу залізорудного пилу дає змогу отримати матеріал з великими коефіцієнтами екранування магнітного поля промислової частоти та електромагнітного поля ультрависокої частоти. Але прийнятні коефіцієнти екранування досягаються за товщини матеріалу 5–10 мм. Як показано у роботі структурними дослідженнями, підвищення якості матеріалу можливе за рахунок більш рівномірного розподілу екрануючих частинок. Перемішування вихідної суміші у спеціальному млині-брабендері (brabender) не унеможливорює злипання частинок залізорудного пилу. Відомий метод оброблення матеріалів ультразвуком, що сприяє підвищенню їх фізико-механічних властивостей. У роботі [11] показано підвищення міцності металевих матеріалів під впливом ультразвукового випромінювання. У дослідженні [12] наведено результати підвищення однорідності розплаву металевих сплавів за рахунок ультразвукової обробки, яка передуює кристалізації. Наведене свідчить про можливість підвищення якості металополімерних матеріалів за рахунок ультразвукової обробки вихідних сумішей.

Для вироблення металополімерного матеріалу у якості полімера обрано стандартний харчовий латекс (latex) NRL виробництва «Vytech» (USA). Цей матеріал виробляється у рідкому стані, широко використовується й має малу вартість. У якості екрануючої субстанції використовувався залізорудний концентрат, отриманий методом флотації (flotation) на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті (Україна). Склад концентрату – Fe – 72–73 %, FeO, Fe₃O₄ – 8–20 %. Середня дисперсність 150–200 мкм.

Вимірювання ефективності матеріалів (коефіцієнтів екранування) електромагнітного поля наднизьких частот виконувалися за допомогою каліброваного аналізатора електромагнітного спектра Spectran NF 5035 (Німеччина)

згідно інструкції з експлуатації. Максимальна основна похибка вимірювань не перевищувала 1 %. Для визначення коефіцієнтів екранування електромагнітних полів ультрависокої частоти використовувався калібрований вимірювач щільності потоку енергії ПЗ-31 (Російська Федерація) згідно інструкції з експлуатації. Максимальна основна похибка вимірювань не перевищувала 2,7 дБ. Вимірювання коефіцієнтів екранування здійснювалося для геометрично замкнених екранів, які повністю огортали вимірювальні антени. Фонові рівні напруженості електричного поля промислової частоти під час вимірювань не перевищували 10 В/м, магнітного поля – 0,1 А/м. Фонова щільність потоку енергії, у діапазоні частот 0,3–30 ГГц, не перевищувала 0,265 мкВт/см².

У якості екрануючої субстанції для виготовлення засобів колективного захисту – матеріалів для облицювання поверхонь великих площ застосовується більш дешевий матеріал – залізорудний концентрат. Як зазначалося, головною задачею підвищення якості матеріалу є рівномірність розподілу екрануючих частинок у об'ємі носія – рідкого латексу.

На першому етапі сухий концентрат залізної руди додавався у латекс (у даному випадку – 20 % за вагою) та механічно перемішувався. Після цього суміш піддавалася ультразвуковій обробці (рисунок 2.1).

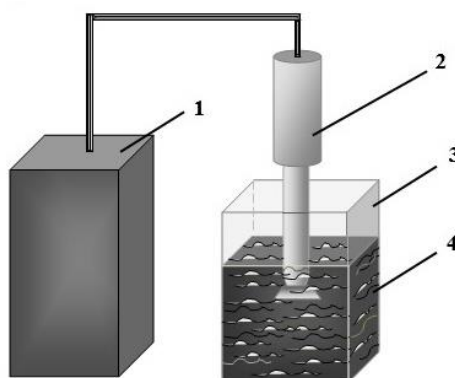


Рисунок 2.1 – Схема установки для ультразвукової обробки металополімерної суміші: 1 – ультразвуковий генератор; 2 – випромінювач ультразвукових коливань; 3 – ємність з вихідною рідиною; 4 – суміш, що піддається ультразвуковому впливу

Перевагою такої обробки є великі амплітуди звукового тиску при малих енерговитратах. Робочий об'єм є коливальною системою, що працює на вимушених

коливаннях у режимі пружної хвилі. Стояча хвиля виникає у робочому об'ємі, коли відстань між двома відбиваючими поверхнями відповідає умові $n\lambda/2$, n – ціле число, а λ – довжина механічної хвилі. У цьому випадку з'являються резонансні явища у об'ємі рідини. При збільшенні амплітуди коливань частинок середовища зростає коливальна швидкість й амплітуда звукового тиску, тобто відбувається самозбудження інтенсивності коливального процесу у робочому об'ємі без додаткового підвищення енергії. Для ультразвукової обробки використовувався генератор потужністю 80 Вт, амплітуда ультразвукових коливань складала 45–50 мкм. Обробка здійснювалася на частоті 23 кГц, що відповідає довжині хвилі приблизно 0,014 м. Таким чином, при вертикальних рухах ультразвукового випромінювача наведена вище умова виникнення резонансних явищ завжди забезпечується.

Після обробки 0,5 літра суміші впродовж 10 хвилин вона наносилася на основу. Наявність основи не є обов'язковою, але у цьому випадку можна отримати матеріал малої товщини. Для уніфікації захисних матеріалів у якості основи також обрано лляну тканину. Тканина з нанесеною металополімерною сумішшю прокочується валками, що дозволяє отримати товщину матеріалу 0,5–1,0 мм у залежності від тиску. Після цього матеріал висушується і є готовим до застосування.

Дослідження захисних властивостей отриманих матеріалів (визначення коефіцієнтів екранування) виконувалося для електромагнітних полів наднизьких частот (промислова частота, її гармоніки та інтергармоніки) та електромагнітного поля ультрависокої частоти 2,45 ГГц. Це робоча частота мікрохвильових печей, яка не підлягає при використанні ліцензуванню і є проміжною між робочою частотою бездротових мереж WiFi (2,4 ГГц) та мобільного зв'язку 4G (2,6 ГГц). Тобто ступені захисту, через близькість частот для цих джерел, практично не відрізняються.

Рівні електромагнітних полів наднизької частоти, враховуючи їх квазістаціонарність, визначаються окремо за магнітною та електричною складовими поля (рисунки 2.2).

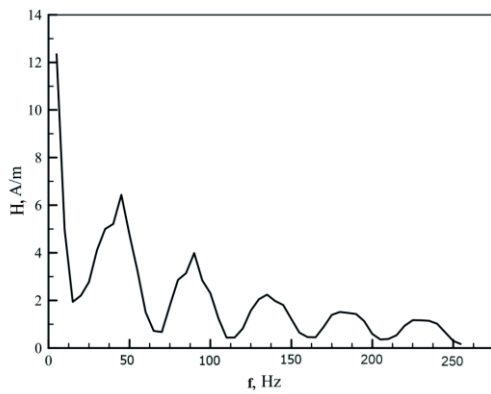
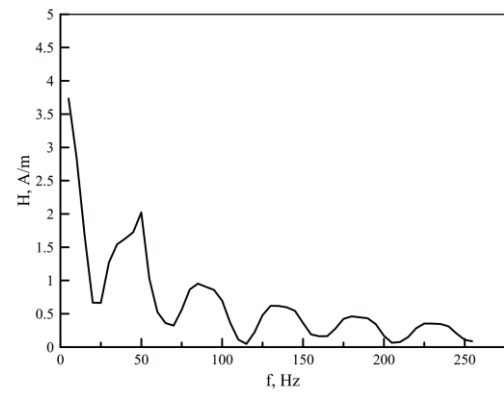
*a**б*

Рисунок 2.2 – Екранування магнітного поля наднизької частоти захисними матеріалами: *a* – вихідний спектр магнітного поля; *б* – спектр магнітного поля, екранованого металополімерним матеріалом

Результати вимірювань змін електричної складової електромагнітного поля наднизької частоти наведено на рисунку 2.3.

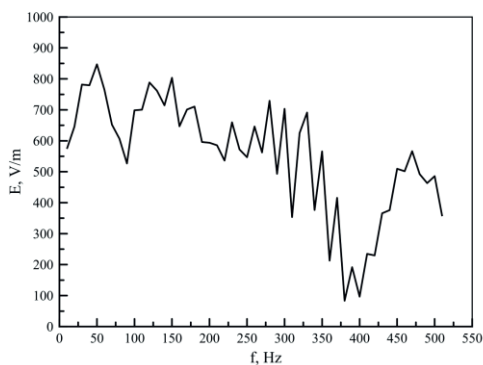
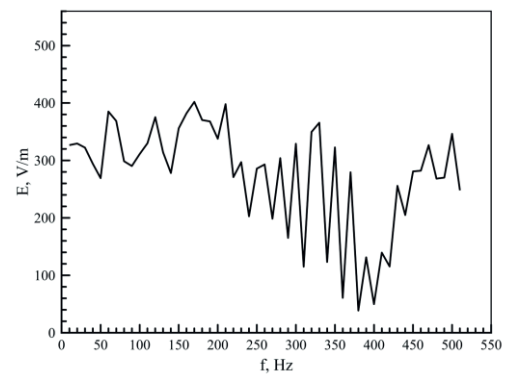
*a**б*

Рис. 2.3 – Екранування електричного поля наднизької частоти захисними матеріалами: *a* – вихідний спектр електричного поля; *б* – спектр електричного поля, екранованого металополімерним матеріалом

Цей результат очікуваний через те, що екрануюча субстанція має малу провідність, що знижує коефіцієнти екранування електричного поля. Але магнітне поле вважається більш критичним щодо впливу на біологічні об'єкти. До того ж екранування електричного поля у виробничих умовах, на відміну від магнітного, не складає труднощів через можливість застосування будь-якого суцільного металевого матеріалу.

Для проектування магнітних та електромагнітних екранів фахівцями-практиками необхідно надати можливість попереднього оцінювання ефективності екрана. Для отримання товщини стінки екрана необхідно враховувати еквівалентну глибину проникнення поля у товщину екрана δ (формула 2.1). З електродинаміки суцільних середовищ відомо, що

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}}, \quad (2.1)$$

де f – частота поля,

μ – абсолютна магнітність проникність матеріалу,

σ – питома електрична провідність матеріалу.

Еквівалентна глибина проникнення – це глибинна відстань від поверхні екрана, на якій поле зменшується у 2,7 разів. Фактична глибина проникнення залежить від необхідного ступеня ослаблення поля. Наприклад, при зниженні поля у 10 разів фактична глибина проникнення поля складає $2,3\delta$. Враховуючи, що інноваційні матеріали мають магнітні та електрофізичні дані, які не є табличними, вихідні дані необхідно отримати експериментально. Питомі провідності матеріалів легко визначити вимірюванням зворотної величини – питомого опору. Це здійснюється з використанням методу подвійного мосту, який є стандартним. Магнітну проникність можна визначити, виходячи з низки експериментів по вимірюванню коефіцієнтів екранування матеріалів з різною концентрацією екрануючої субстанції.

У роботі [10] отримано співвідношення щодо коефіцієнта екранування магнітного поля промислової частоти циліндричним екраном (формула 2.2):

$$K_s = \frac{\mu_{eff} (b^2 - a^2)}{4b^2}, \quad (2.2)$$

де K_s – коефіцієнт екранування,

a – внутрішній радіус циліндричного магнітного екрана,

b – зовнішній радіус,

μ_{eff} – ефективна магнітна провідність матеріалу.

Виходячи з отриманих даних, можна оцінити параметри екранів необхідної ефективності.

Перспективною задачею є дослідження залежності якості металополімерної суміші від часу та частоти ультразвукової обробки. Це дозволить отримати суміш максимальних дисперсності та однорідності.

Розрахунки виконувалися, виходячи із формул 2.3 і 2.4:

$$H_e = H_0 e^{-\alpha d}, \quad (2.3)$$

де H_0 – напруженість вихідного магнітного поля,

H_e – напруженість магнітного поля у зоні захищеній екраном,

d – товщина захисного екрана,

α – коефіцієнт проникнення поля (формула 2.5).

$$E_e = E_0 e^{-\alpha d}, \quad (2.4)$$

де E_0 – напруженість вихідного електромагнітного поля;

E_e – напруженість електромагнітного поля у зоні захищеній екраном,

d – товщина захисного екрана,

α – коефіцієнт проникнення поля (формула 2.5).

У свою чергу,

$$\alpha = \sqrt{\pi f \sigma \mu_a}, \quad (2.5)$$

де f – частота падаючої електромагнітної хвилі,

σ – питома провідність матеріалу екрана,

μ_a – абсолютна магнітна провідність матеріалу екрана.

Розроблений матеріал для екранування низькочастотних та високочастотних електромагнітних полів складається з пінолатексу та доданого у нього у необхідній (розрахованій) кількості залізорудного пилу, який є екрануючою субстанцією. Для розрахунку потрібної товщини необхідні значення σ та μ_a . Оскільки матеріал є інноваційним, ці відомості відсутні у довідковій літературі, тому на попередньому етапі було досліджено залежність σ від концентрації металевої субстанції, а також залежність від неї відносної магнітної проникності ε [12]. Значення за μ_a розраховувалося зі значення ε , виходячи з відомих співвідношень електродинаміки суцільних середовищ. Наведений підхід допомагає регулювати коефіцієнт екранування електромагнітного поля промислової частоти у межах 2 – 6, електромагнітного поля ультрависокої частоти – 2,5 – 12. При цьому можливе однозначне розв’язання як прямої, так і зворотної задачі: для потрібного коефіцієнта екранування визначається товщина захисної поверхні та її фізико-хімічний склад або для можливої товщини екрана у конкретних умовах розраховується склад матеріалу та коефіцієнти екранування. Враховуючи достатню складність технології виготовлення композитних метало-полімерних матеріалів, автоматизація процесу їх проектування та алгоритмізація розроблення та впровадження організаційно-технічних заходів з електромагнітної безпеки дає змогу скоротити час виконання робіт, підвищити їх ефективність та знизити матеріальні витрати.

Ще однією перспективною задачею є оптимізація коефіцієнтів екранування матеріалів відносно електричних, магнітних та електромагнітних полів різних джерел. Наприклад, при організації екранування найбільш поширених магнітних полів промислової частоти необхідно забезпечити стабільну роботу засобів мобільного зв’язку. Відомо, що за сигналу з боку базової станції нижчої за 0,15-0,20 мкВт/см² різко підвищується інтенсивність випромінювань мобільних телефонів, що шкідливо для користувачів. Тому ультрависокі випромінювання частот мобільного зв’язку мають нижню граничну межу. Також нижню межу має природне геомагнітне поле, зниження якого більш ніж удвічі заборонено у виробничих умовах [13]. Враховуючи, що переважною складовою геомагнітного поля є горизонтальна складова, оптимізація захисних властивостей екрануючих матеріалів, у першу чергу,

стосується захисних матеріалів для облицювання стін приміщень та будівель.

Деякі джерела свідчать, що збільшення розмірів частинок металу (сполук металу) знижує коефіцієнт передачі, тобто підвищує коефіцієнт екранування. При цьому спостерігається підвищення коефіцієнта відбиття. Останнє цілком справедливо і впливає навіть з теоретичних міркувань. Але перше твердження коректне у разі однакової концентрації за кількістю частинок різної дисперсності. Випадок, коли частинки різної дисперсності складають однаковий вміст у полімерну матрицю за вагою (% ваг.) не досліджувався. На рисунках 2.4 та 2.5 наведено результати випробувань електромагнітних екранів на частоті 5 ГГц.

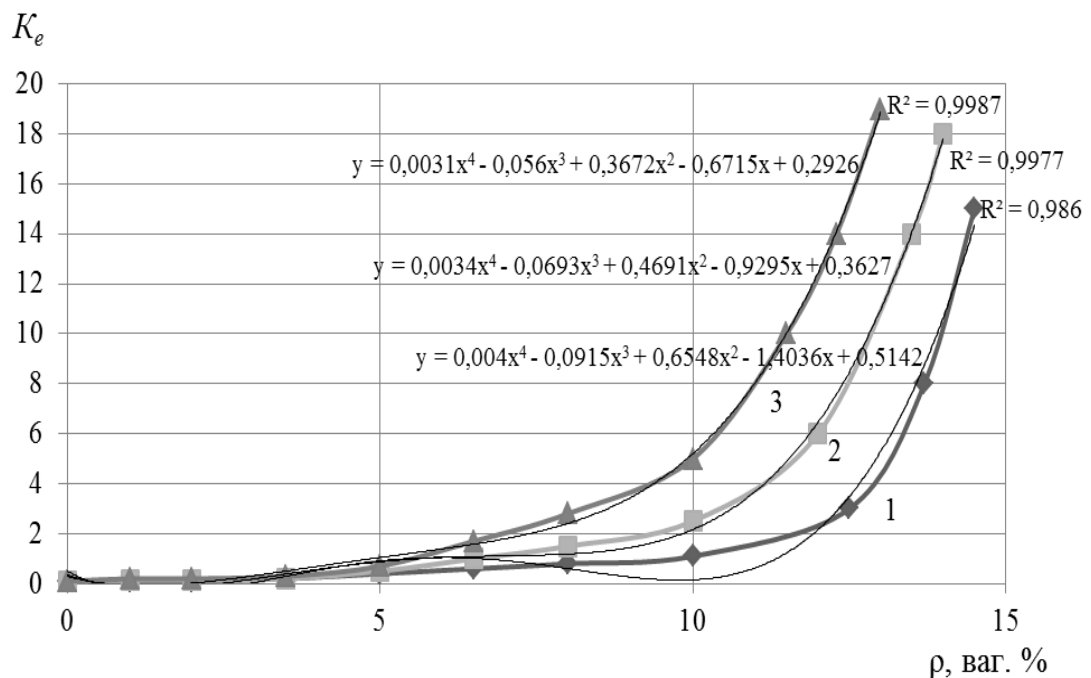


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта екранування металополімерного матеріалу від концентрації металевих субстанцій та її дисперсності: 1 – 50 мкм і більше, 2 – 10 – 30 мкм, 3 – до 5 мкм

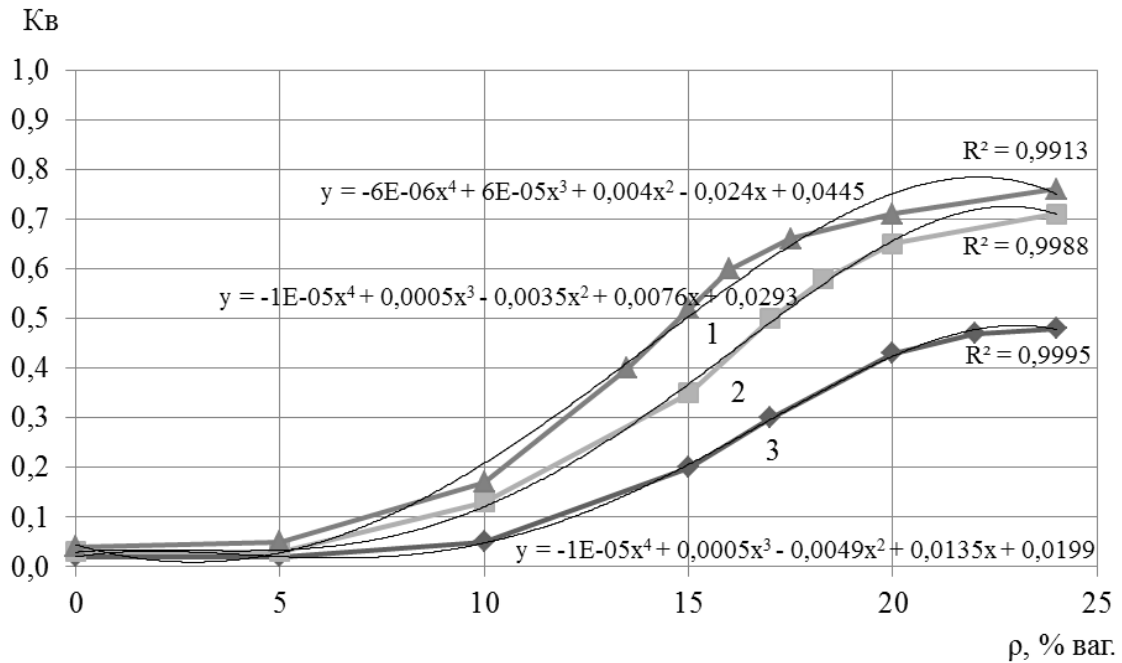


Рисунок 2.5 – Залежність коефіцієнта відбиття металополімерного матеріалу від концентрації металевих субстанцій та її дисперсності: 1 – 50 мкм і більше, 2 – 10 – 30 мкм, 3 – до 5 мкм

Аналіз наведеного графічного матеріалу свідчить, що підвищення дискретності металевих та металовмісних субстанцій за однакової вагової концентрації значно підвищує функціональні можливості екранів. Головною з них є малі коефіцієнти відбиття за прийнятних коефіцієнтів загального екранування. При цьому для виготовлення екрануючого матеріалу використовується залізрудний пил, який потребує утилізації.

Слід зазначити, що екрани малої товщини з вмістом металевих та металовмісних субстанцій 10 – 13 % є гнучкими, що дозволяє використовувати їх для облицювання поверхонь різної конфігурації.

При цьому за товщини матеріалу 1,0-1,2 мм внаслідок різних розмірів металовмісних частинок можна отримати різну їх концентрацію у тілі матриці за товщиною (рисунок 2.6).

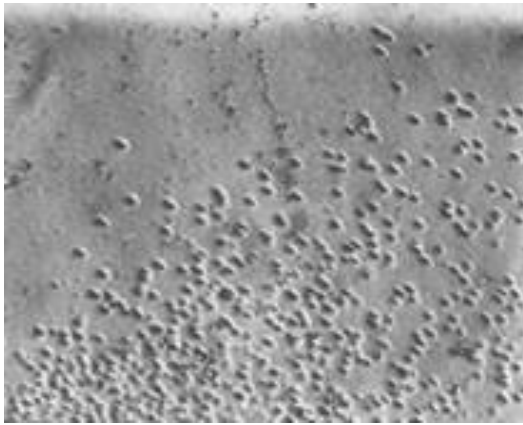
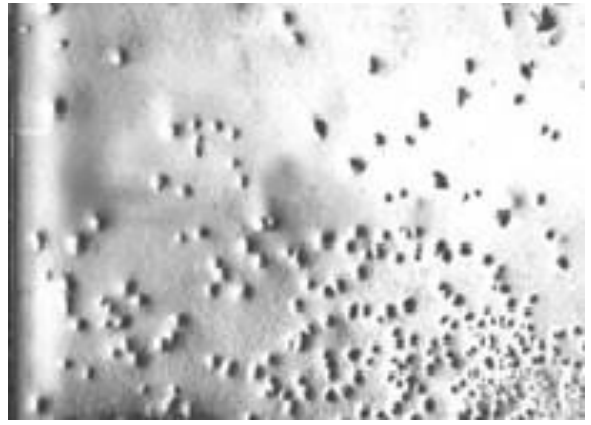
*a**б*

Рисунок 2.6 – Градієнт металовмісної компоненти у полімерній матриці: *a* – збільшення $\times 800$; *б* – збільшення $\times 1100$

Така конструкція дозволяє більш ефективно екранувати електромагнітне випромінювання певної смуги частот або широкосмугового випромінювання. Це обумовлене тим, що відбувається узгодження за глибиною поглинальної структури з середовищем розповсюдження електромагнітної хвилі. Так, для лицевого шару для мінімізації відбиття хвильовий опір матеріалу визначається за формулою 2.6:

$$Z = \left(\frac{\mu}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.6)$$

де μ – відносна магнітна проникність матеріалу,

ε – відносна діелектрична проникність матеріалу.

Хвильовий опір повинен бути максимально наближений до опору повітря (377 Ом). Це співвідношення змінюється за глибиною, сприяючи максимальному поглинанню електромагнітної енергії.

Дослідження довели, що у такий спосіб можна попередньо розрахувати необхідні параметри та виготовити електромагнітний екран необхідної ефективності для будь-якого частотного складу випромінювань ультрависокого та вищих діапазонів.

Як зазначалося вище, захисні властивості електромагнітного екрана можна визначити, виходячи з електрофізичних властивостей матеріалу. Але цей процес

трудомісткий і більше придатний для використання на пошукових стадіях робіт з електромагнітної безпеки. Для забезпечення безпечних умов праці практичне значення мають наскрізне затування (загальний коефіцієнт екранування) та внесок у нього зниження інтенсивності випромінювання за рахунок відбиття електромагнітних хвиль.

Аналіз рисунків 2.4 – 2.6 свідчить, що за концентрації металевої компоненти більше 12-13 % розроблений матеріал можна вважати суцільним екраном з досить вираженими провідними властивостями, тобто зі значеннями відносної магнітної проникності, які наближаються до показників феромагнетиків.

У загальному випадку коефіцієнт екранування залежить від орієнтації хвилі відносно поверхні екрана.

Так, для нормально падаючої хвилі для екранів з високими концентраціями феромагнітної компоненти коефіцієнт екранування можна визначити зі співвідношення:

$$K_s = 20 \lg \left\{ ch \, k \delta \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_q}{Z_m} + \frac{Z_m}{Z_q} \right) th \, k \delta \right] \right\}, \quad (2.7)$$

де k – коефіцієнт вихрових струмів, що визначається за формулою 2.8,

δ – товщина екрана,

Z_q – хвильовий опір діелектрика (повітря),

Z_m – хвильовий опір металу екрана.

$$k = \sqrt{j \omega \mu \sigma_m}. \quad (2.8)$$

Якщо ми маємо градієнтний екран, вироблений з шарів різних концентрацій металевої компоненти, то Z_q береться як опір попереднього шару.

При цьому загальний коефіцієнт екранування K_s (формула 2.9) буде складатися з коефіцієнта відбиття K_r та коефіцієнта поглинання K_a (формула 2.10):

$$K_r = 20 \lg \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_q}{Z_m} + \frac{Z_m}{Z_q} \right) \operatorname{th} k \delta \right], \quad (2.9)$$

$$K_a = 20 \lg ch k \delta. \quad (2.10)$$

З цих співвідношень видно, що поглинання електромагнітної енергії зростає зі збільшенням частоти поля, товщини, магнітної проникності та провідності матеріалу екрана, а коефіцієнт відбиття визначається невідповідністю хвильових характеристик шарів.

Так, товщину екрана, яка забезпечує необхідний коефіцієнт екранування на межі розділу «повітря – суцільний екран» можна легко розрахувати із формули 2.11:

$$\delta = \frac{K_s}{15,4 \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \mu \sigma_m}}, \quad (2.11)$$

де ω – колова частота падаючого електромагнітного поля,

μ – відносна магнітна провідність,

σ_m – провідність матеріалу екрана.

Як видно з рисунку 2.6, розташування металевих частинок досить регулярне, тому за малих концентрацій металевого наповнювача (менше 12 %) цей матеріал можна розглядати як металеву решітку з визначеними розмірами частинок та проміжками між ними.

При падінні електромагнітної хвилі під прямим кутом до поверхні екрана за її лінійної поляризації вектори електричної та магнітної складових електромагнітного поля паралельні площині екрана. При цьому коефіцієнт екранування визначається із формули 2.12:

$$K_s = 10 \lg \frac{4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{1 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}, \quad (2.12)$$

де r_0 – радіус металевої частинки,

d – середня відстань між частинками (крок частинок у ортогональній проекції),

λ – довжина падаючої електромагнітної хвилі.

Найбільший практичний інтерес представляє випадок падіння електромагнітної хвилі під деяким кутом до екрана (формули 2.13 та 2.14).

У цьому випадку:

$$K_r = 10 \lg \frac{4 \left(\frac{d \cos \varphi}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{1 + 4 \left(\frac{d \cos \varphi}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}, \quad (2.13)$$

$$K_s = 10 \lg \frac{(1 - \cos \varphi)^2 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \left(\frac{d}{2\pi r_0} \right) \right)}{1 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \left(\frac{d}{2\pi r_0} \right) \right)}, \quad (2.14)$$

де φ – кут між напрямком розповсюдження електромагнітної хвилі і нормаллю до поверхні екрана.

Наведені співвідношення визначені з фундаментальних фізичних законів, щодо розсіювання електромагнітних хвиль регулярними металевими структурами.

Для ефективного поглинання електромагнітних хвиль регулярними структурами між їх параметрами та довжинами хвиль повинні витримуватися певні співвідношення. Найважливішими з них є: $d < 0,1\lambda$, $r_0 < 0,1d$.

3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Проектування системи

3.1.1 Розробка математичної моделі системи

Моделювання — це заміщення одного об'єкта іншим з метою отримання інформації про найважливіші властивості початкового об'єкта шляхом здійснення експериментів з моделлю.

Модель — це такий створений об'єкт матеріального або абстрактного характеру, що подібен до об'єкта-оригінала і відображає частину властивостей, характеристик, зв'язків об'єкта-оригінала, які є істотними для поставленої задачі [14]. Модель може бути фізичним об'єктом (макетом, стендом) або специфікацією (описом). Розрізняють структурні та функціональні моделі. Структурні моделі — це моделі, які описують форму, структуру, складові частини об'єкта моделювання. Функціональними моделями є моделі, які відображають процеси, які відбуваються в об'єкті та описують його механізм функціонування. На рисунку 3.1 розглянуті основні типи моделей.

Модель використовують для того, щоб:

- 1) зрозуміти, як влаштований конкретний об'єкт: яка в нього структура, внутрішні зв'язки, основні властивості, та як він взаємопов'язаний з навколишнім світом;
- 2) навчитися управляти об'єктом або процесом, визначити найкращі способи управління при заданих цілях та критеріях;
- 3) проаналізувати прямі та непрямі наслідки реалізації заданих способів взаємодії на об'єкт [14].

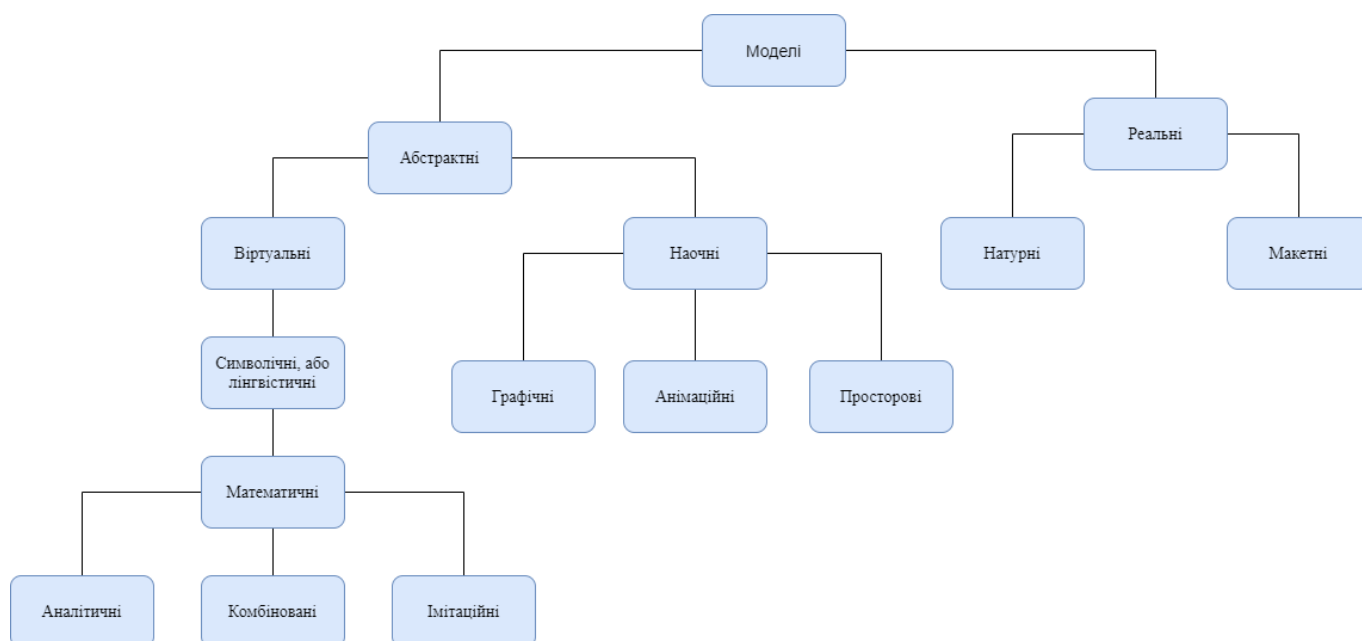


Рисунок 3.1 – Основні типи моделей

Якщо модель формалізована засобами апарата і мови математики, її називають математичною. Математичні моделі дозволяють звести дослідження реального об'єкта до розв'язання математичної задачі. Математичні моделі можуть бути символічними та числовими. В символічних оперують не значеннями, а назвами (символічними позначками) величин. Числові моделі можуть бути аналітичними (тобто такими, що можна представити у вигляді явних залежностей) та алгоритмічними, в яких зв'язок між цими параметрами задається неявно у вигляді алгоритму моделювання. Імітаційні моделі відображають процеси, що проходять в системі за наявності зовнішніх впливів на систему.

Ефективне використання моделей можливе лише тоді, коли їхні характеристики відповідають вимогам. Виділяють основні характеристики моделей:

- 1) точність математичної моделі оцінюється за збіжністю значень параметрів реального об'єкта і значень тих же параметрів, отриманих за допомогою побудованої моделі; при цьому точність характеризується похибкою (відхиленням модельного значення від дійсного) і є величиною, оберненою до неї;
- 2) вірогідність – це ймовірність відсутності помилки при побудові моделі;
- 3) адекватність – це правильне відтворення моделлю всіх властивостей об'єкта, необхідних для даного дослідження

4) обмеженість моделі матеріальними, енергетичними, часовими та інформаційними ресурсами

5) спрощеність – модель відображає тільки суттєві для дослідження характеристики об'єкта [15].

Математичне моделювання проходить такі етапи:

1) постановка задачі. На цьому етапі визначаються мета дослідження, вимоги до якості та критерії функціонування;

2) побудова або вибір математичної моделі. На цьому етапі проходить дослідження об'єкта та процесів, що протікають в ньому;

3) аналіз моделі, під час якого проводиться оцінка якостей моделі;

4) планування експерименту. Експеримент має бути максимально інформативним, задовольняти обмеження та забезпечувати отримання даних з необхідною точністю;

5) експлуатація моделі, тобто впровадження моделі та проведення експерименту;

6) аналіз результатів та корекція моделі. Проводиться аналіз, інтерпретація даних та оцінка відповідності моделі меті моделювання (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Етапи моделювання

Для аналізу експериментальних досліджень була використана методика математичного планування експерименту за схемою ротатбельного центрального композиційного планування (РЦКП), в основі якої лежить регресійний аналіз, що включає метод найменших квадратів та статистичну обробку даних. Це дозволяє побудувати математичну модель з однаковою точністю, що передбачає значення

відгуку в точках рівновіддалених від центру плану і з найбільшою точністю в точках, розташованих у його околиці.

У результаті математична модель досліджуваного процесу описується поліномом у вигляді формули 3.1:

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{\substack{i,j,u=1 \\ i \neq j \neq u}}^k b_{iju} x_i x_j x_u + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (3.1)$$

де b_0 – вільний член,

b_i – лінійні ефекти,

b_{ij} – ефекти парної взаємодії,

b_{iju} – ефекти потрійної взаємодії,

b_{ii} – квадратичні ефекти.

Пошук залежності між факторами проводився з використанням методів і процедур регресійного аналізу. Оскільки при проведенні експерименту в кожному конкретному досліді була можливість задавати будь-яке значення для факторів, тому їх можна віднести до групи контрольованих і керованих. Таким чином можна стверджувати, що величина індукції магнітного поля, індукції магнітного поля промислової частоти та рівня електромагнітного випромінювання є відгуком, тобто залежать від контрольованих керованих факторів при випадковій їх зміні.

Математична обробка отриманих даних дозволила встановити спільний вплив відсотку екрануючої субстанції (%) та товщини екрана (Δ) на величину індукції магнітного поля ($B_{ГМ}$), індукції магнітного поля промислової частоти (B_{50}) та рівень електромагнітного випромінювання (W). Для отримання поліноміальної моделі було застосовано двухфакторне ротатбельне планування другого порядку.

При проведенні факторного експерименту, згідно з вимогами ротатбельного планування, у матрицю включалися дві змінні на двох рівнях (чотири точки), чотири «зіркові точки» з координатами $\pm 1,41421$; 0 й дві точки в центрі експерименту

(таблиця 3.1). У матриці планування основний рівень позначений як “0”, нижній рівень – знаком “–”, верхній рівень – знаком “+1”.

Таблиця 3.1. Матриця планування експерименту

	Δ	%	$B_{ГМ}$	B_{50}	W
1.	5	10	20	2	0,8
2.	8	5	15	0,6	0,6
3.	5	10	20	2	0,8
4.	1	10	45	22	2,6
5.	5	3	35	7	1,5
6.	2	5	45	20	2,1
7.	2	15	36	10	1,6
8.	9	10	8	0,08	0,1
9.	8	15	8	0,001	0,08
10.	5	17	16	0,35	0,45

Загальна кількість дослідів рахується за формулою 3.2:

$$N = 2^k + 2k + k_0 = 10, \quad (3.2)$$

де $k = 2$ – кількість факторів,

$2^k = 4$ – повний факторний експеримент (ядро плану),

$2k = 4$ – «зіркові точки» (величина «зіркового плеча» $\alpha = 1,41421$),

$k_0 = 2$ – дослід в центрі плану.

Математична обробка результатів експерименту проводилася з використанням персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням, що дозволило автоматизувати процедури розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії; величин усіх вихідних параметрів рівнянь регресії при заданих значеннях факторів; значень факторів, при яких забезпечуються максимальні значення полінома апроксимації в області варіювання факторів; оцінки значущості коефіцієнтів рівнянь регресії за

критерієм Ст'юдента; перевірки адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера (F); побудови поверхонь відгуку при попарній зміні одного фактору і фіксуванні іншого на заданому рівні.

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано наступні рівняння регресії:

- геомагнітне поле (формула 3.3)

$$B_{GM} = 75,3965 - 8,54135\Delta - 3,43841\% + \\ + 0,361111\Delta^2 + 0,0333333\Delta\% + 0,11\%^2 \quad (3.3)$$

- магнітне поле промислової частоти геомагнітне поле (формула 3.4)

$$B_{50} = 43,8197 - 9,18698\Delta - 2,01205\% + \\ + 0,510354\Delta^2 + 0,156683\Delta\% + 0,0364275\%^2 \quad (3.4)$$

- електромагнітне поле мобільного зв'язку 1,8 ГГц геомагнітне поле (формула 3.5)

$$W = 3,77481 - 0,556619\Delta - 0,117456\% + \\ + 0,0286805\Delta^2 - 0,000333333\Delta\% + 0,002825\%^2 \quad (3.5)$$

Коефіцієнтом детермінації R^2 , рівним 97,6887% для B_{GM} , 99,7613% – B_{50} , 97,6137% – W .

Перевірка статичної значущості факторів проводилося за допомогою стандартизованих карт Парето. Отримана математична модель є адекватною. Коефіцієнти, що стоять перед факторами, говорять про значимість вхідних параметрів та вплив їх на досліджувані величини, а також їх парну взаємодію факторів на вихідну величину.

Аналіз отриманих рівнянь виду 3.3 – 3.5 з урахуванням карт Парето (рисунок 3.3) дозволило кількісно оцінити вплив варіювання кожного з досліджуваних факторів на величину індукції магнітного поля, індукції магнітного поля промислової частоти та рівня електромагнітного випромінювання. Перетин стандартизованих ефектів вертикальною лінією, яка представляє собою 95 % довірчу ймовірність, означає, що вплив факторів на функцію відгуку статично значимо.



Рисунок 3.3 – Карта Парето регресійної моделі: *а* – індукція магнітного поля, *б* – індукція магнітного поля промислової частоти, *в* – рівень електромагнітного випромінювання

Вплив факторів за ступенем значущості розподілилося в наступному порядку: найбільший ефект на величину індукції магнітного поля та рівня електромагнітного випромінювання має вплив лінійної залежності відсотку екрануючої субстанції (%) та товщини екрана (Δ), причому знак «плюс» на карті Парето вказує на збільшення відгуку при збільшенні фактору, а знак «мінус» на зменшення відгуку при збільшенні фактору. На величину індукції магнітного поля промислової частоти має вплив лінійної та квадратичної залежності товщини екрана.

Для реалізації швидкого аналізу отриманих даних нами було використано модифікований симплекс-метод.

Застосування модифікованої симплекс-процедури не тільки спрощує програмне забезпечення, але і різко підвищує швидкість збіжності. Так для градієнтної процедури для досягнення околиці точки оптимуму треба було 50 кроків, для покоординатного підйому 27 кроків, то для симплекс-методу досить 20 кроків процедури.

Але головною перевагою методу є висока стійкість. Так ні градієнтна процедура, ні покоординатний підйом не працездатні вже при помилці вимірювання в межах відсотка, в той час як симплекс зберігає збіжність і при десятивідсоткових помилках. Дана властивість симплекс-процедури заснована на значному охопленні факторного простору і супроводжується тенденцією до руху до глобального оптимуму.

Використано процедуру визначення напрямку руху до оптимуму при знижених вимогах до точності визначення напрямку. При цьому усувається необхідність оцінки похідною і спрощується алгоритм визначення напрямку руху. Даний метод часто використовується при побудові моделей виробничих процесів, де обмежена точність вимірів, і складно проводити велику кількість експериментів. [16, 17, 18]

На рисунку 3.4 приведена ілюстрація даного підходу.

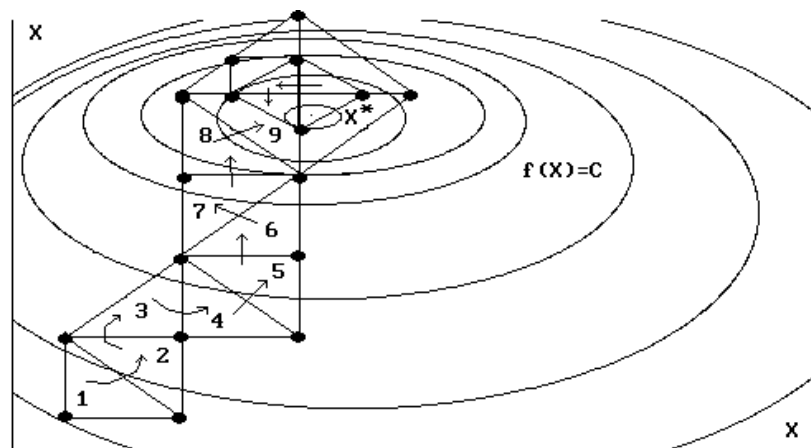


Рис. 3.4 – Симплекс-метод

На першому кроці сформуємо в просторі X для початкової точки (x_1, x_2) “симплекс” (формула 3.6):

$$\left. \begin{array}{l} (x_1, x_2) \\ (x_1 + h, x_2) \\ (x_1, x_2 + h) \end{array} \right\}, \quad (3.6)$$

і знайдемо максимальне значення функції мети в вузлах симплекса, припустимо це точка (x_1, x_2) . Повернемо “симплекс” в напрямку спадання функції мети навколо осі $(x_1 + h, x_2)$, $(x_1, x_2 + h)$ і отримаємо новий “симплекс” (формула 3.7):

$$\left. \begin{array}{l} (x_1 + h, x_2 + h) \\ (x_1 + h, x_2) \\ (x_1, x_2 + h) \end{array} \right\}, \quad (3.7)$$

що дає новий вихідний симплекс і можна повторити всю процедуру.

Ознакою завершення процедури є “зациклення симплекса”, зображене на рисунку 3.4. При виявленні зациклення, в разі якщо точність визначення координат оптимуму недостатня, необхідно зменшити h .

Симплекс-метод забезпечує не тільки високу швидкість збіжності, але і дуже економічний з точки зору обчислень, а головне дозволяє отримувати інформацію достатню для побудови регресійних моделей, що визначає його чутливість по відношенню до глобальності оптимуму.

Для отримання більш простої та ефективної процедури розглянемо максимальну розмірність симплекса, коли кількість точок в плані однорозмірності факторного простору. У цьому випадку вихідні розміри симплекса великі, що дозволяє сподіватися на чутливість до глобальності оптимуму і різке придушення впливу помилок вимірювання.

Так як розробляється конкретний додаток, використовуємо процедуру з кінцевим і фіксованим числом кроків і стисненням симплекса [19,20] (рисунок 3.5).

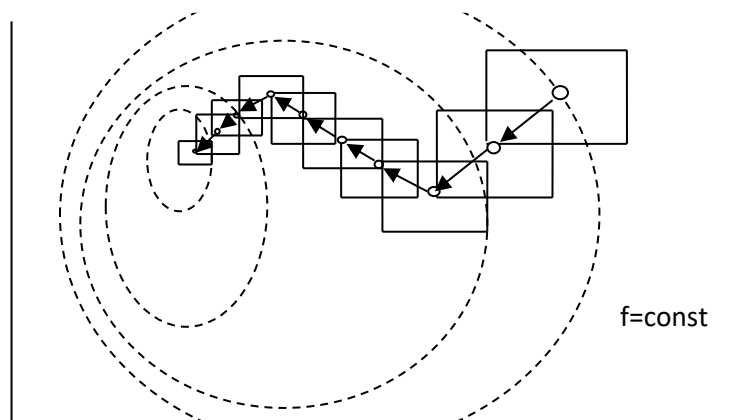
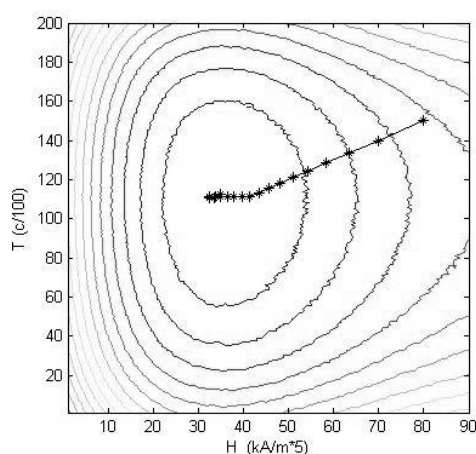
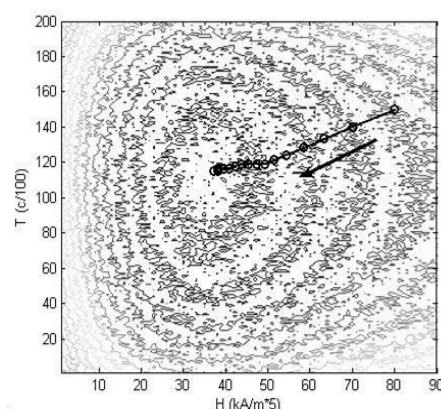


Рисунок 3.5 – Траєкторія руху до оптимуму при використанні модифікації
симплекс-методу

Розроблене програмне забезпечення задачі пошуку максимуму з використанням модифікованого симплекс-методу. Істотною особливістю запропонованого методу є його висока стійкість по відношенню до помилок виміру і шумів. На рисунку 3.6 показана траєкторія руху при одинвідсотковому діапазоні помилки і при помилці виміру, що досягає десяти відсотків.



a



б

Рисунок 3.6 – Траєкторії руху до оптимуму при використанні модифікованого
симплекс методу: *a* – помилка виміру один відсоток; *б* – помилка виміру десять
відсотків

Таким чином, застосування модифікованої симплекс-процедури не лише спрощує програмне забезпечення, але і різко підвищує швидкість збіжності. Головною перевагою методу є висока завадостійкість. Так, ні градієнтна процедура, ні покоординатний підйом не працездатні вже при помилці виміру в межах відсотка, тоді як симплекс зберігає збіжність і при десятивідсоткових помилках. Ця властивість симплекс-процедури заснована на значному охопленні факторного простору і супроводжується тенденцією руху до глобального оптимуму. [19,21]

3.1.2 Розробка діаграми прецедентів

Уніфікована мова моделювання (Unified Modeling Language, UML) – це графічна мова для візуалізації, конкретизації, побудови та документування програмних систем. [22]

Діаграма прецедентів (діаграма варіантів використання, Use-case diagram) – це UML-діаграма, на якій зображено сукупність прецедентів та суб'єктів і відношення між ними. Діаграми прецедентів використовуються для моделювання представлення системи з точки зору варіантів використання. [22]

Метою створення діаграми прецедентів є:

- визначення загальних меж і контексту модельованої предметної області на початкових етапах проектування системи;
- формулювання загальних вимог до функціональної поведінки проектованої системи;
- розроблення вихідної концептуальної моделі системи;
- підготовка вихідної документації для взаємодії розробників системи з її замовниками і користувачами. [23]

Основними елементами діаграми прецедентів є:

- суб'єкт (actor) – будь-яка сутність, що взаємодіє з системою ззовні. Це може бути не тільки людина, але і технічний пристрій, програма або будь-яка інша система, яка може служити джерелом впливу на модельовану систему. Стандартне графічне позначення суб'єкта на діаграмах зображено на рисунку 3.7;
- варіант використання (use case) визначає деякий набір дій, який чинить система при діалозі з суб'єктом. При цьому нічого не говориться про те, яким чином буде реалізовано взаємодію суб'єктів з системою, це одна з найважливіших особливостей розробки прецедентів. Стандартним графічним позначенням прецеденту на діаграмах є еліпс, всередині якого міститься коротка назва прецеденту або ім'я у формі дієслова з пояснювальними словами (рисунок 3.8);

– граничні межі системи охоплюють усі випадки використання у системі. Позначається прямокутником.



Рисунок 3.7 – Графічне позначення суб'єкта



Рисунок 3.8 – Графічне позначення прецедента

В UML є декілька стандартних видів відношень між акторами та варіантами використання:

1) відношення асоціації (association relationship) визначає специфічну роль суб'єкта в окремому варіанті використання. На діаграмі відношення асоціації позначається суспільною лінією між суб'єктом та прецедентом;

2) відношення включення (include relationship) між двома варіантами використання вказує на те, що деяка задана поведінка для одного варіанта використання є складовим компонентом в послідовності поведінки іншого варіанту використання. Графічно це відношення відображається пунктирною лінією зі стрілкою, яка направлена від базового варіанта використання до включеного, і позначається ключовим словом «include» («включає»);

3) відношення розширення (extend relationship) визначає взаємозв'язок базового прецедента з деяким іншим, функціональна поведінка якого задіюється не завжди, а тільки при виконанні деяких додаткових умов. Позначається пунктирною лінією зі стрілкою, спрямованої від того прецеденту, який є розширенням для вихідного прецеденту, і позначається ключовим словом «extend» («розширює»);

4) відношення узагальнення (generalization relationship) – це відношення між загальною сутністю та її конкретним втіленням. Графічно дане відношення позначається суцільною лінією зі стрілкою в формі незафарбовані трикутника, яка вказує на батьківський прецедент. [23]

На рисунку 3.9 зображено діаграму прецедентів для розроблюваної в рамках даного дипломного проекту системи.

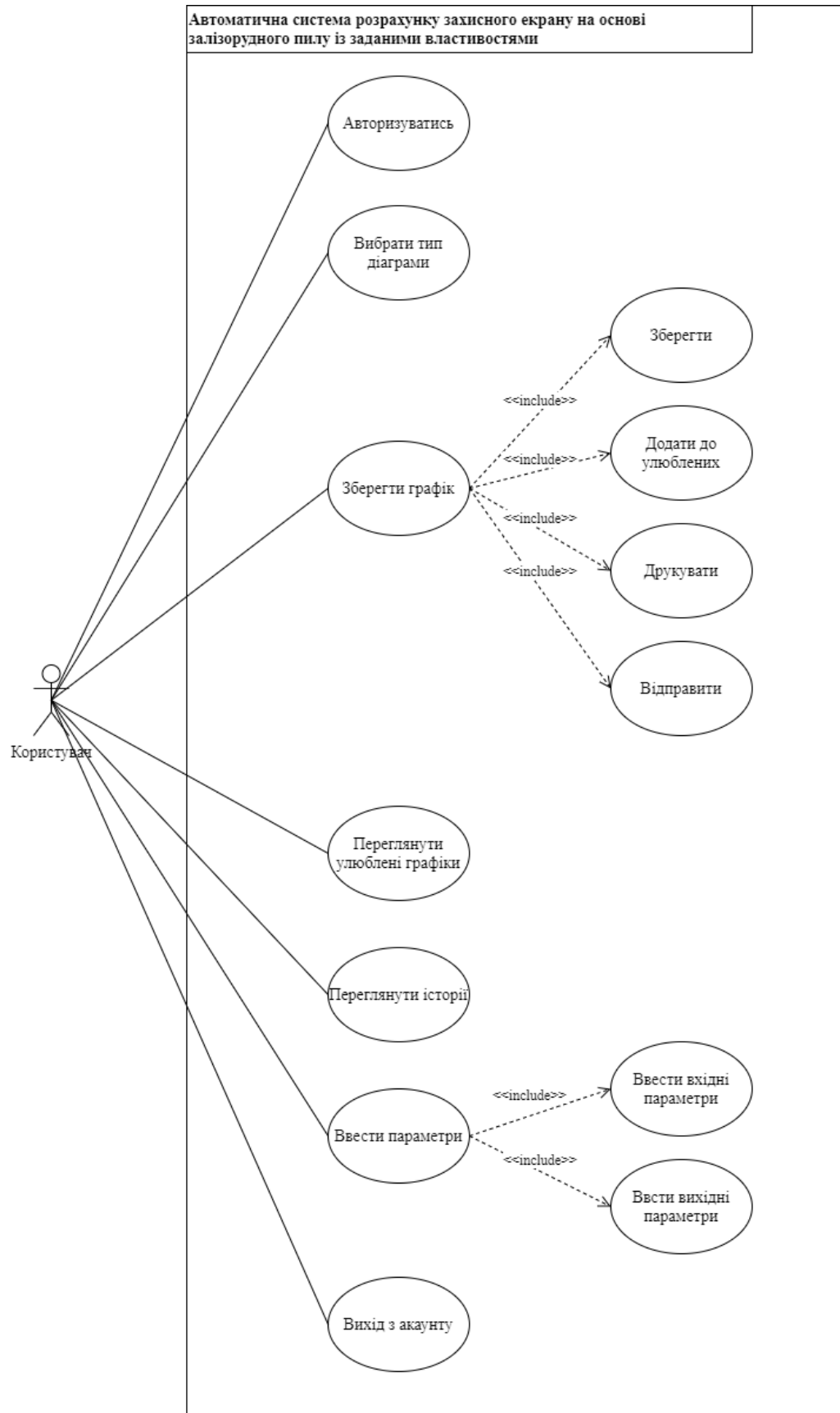


Рисунок 3.9 – Діаграма прецедентів

За діаграмою прецедентів (рисунок 3.9) можна визначити основні можливості користувача системи:

- авторизація (введення ім'я користувача та пароля);
- вибір типу діаграми (діаграму, гістограму або трьохвимірну діаграмою);
- збереження графіка на комп'ютер, додавання до улюблених, друк та відправка;
- перегляд улюблених графіків;
- перегляд історії побудованих графіків;
- введення вхідних та вихідних параметрів;
- вихід (повернення на сторінку авторизації).

3.2 Засоби розробки

Під час розробки автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями були використані різноманітні інструменти та засоби розробки.

На першому етапі роботи над проектом для побудови архітектури системи було застосовано програмний інструмент draw.io. Він пропонує зручний інтерфейс користувача, створення та редагування різноманітних типів діаграм, наприклад, UML, ER, мережевих діаграм, діаграм класів, блок-схем та таблиць.

На сьогоднішній день ринок надає широкий вибір технологій реалізації програмного забезпечення. В якості потенційних засобів розробки програмного забезпечення розглядалися наступні технології: Java, C#, C, Python.

Java є широко розповсюдженою мовою програмування, яка виконується у середовищі віртуальної машини Java. Java програми компілюються у байт-код, який при виконанні інтерпретується віртуальною машиною для конкретної платформи

Java стала незамінним інструментом для розробників, тому що:

- написане програмне забезпечення на одній платформі може бути запущене практично на будь-який інший платформі;

- має високу надійність. Творці виключили можливість створення програм, в яких були б приховані найбільш поширені помилки;
- забезпечено автоматичне знищення пам'яті за допомогою «збирача сміття»;
- багато задач, що зустрічаються при розробці програмного забезпечення, вже вирішені в рамках стандартних бібліотек.

Однак, Java використовує багато системної пам'яті та має відносно низьку продуктивність.

C# – це об'єктно-орієнтована мова програмування, яка відрізняється простотою, надійністю та логічністю. Вона має компонентно-орієнтований підхід, строгу статичну типізацію, явну підтримку коваріантності, підтримує поліморфізм та перевантаження операторів. Потужна бібліотека каркасів підтримує зручність побудови різних типів додатків на C#, дозволяючи легко будувати компоненти, досить просто зберігати й одержувати інформацію з бази даних та інших сховищ даних.

Python – динамічна інтерпретована об'єктно-орієнтована скриптова мова програмування із строгою динамічною типізацією. Python – потужна мова програмування загального призначення. Вона використовується в веб-розробці, науці про дані, створенні прототипів програмного забезпечення тощо. Python має простий у використанні синтаксис.

Python підтримує строгу типізацію та “збирача сміття”. Вона підтримує декілька парадигм програмування, включаючи структуроване (зокрема, процедурне), об'єктно-орієнтоване та функціональне програмування. Інтерпретатор Python та стандартні бібліотеки доступні як у скомпільованій, так і у вихідній формі на всіх основних платформах. Недоліком мови є порівняно невисока швидкість виконання Python-програми.

C — універсальна, процедурна, імперативна мова програмування загального призначення. Мова C пропонує тільки прості, послідовні конструкції потоків управління: перевірки, цикли, групування і підпрограми. Версії компіляторів для мови C існують для багатьох операційних систем та апаратних архітектур. [24]

C – низькорівнева мова програмування, та, незважаючи на це, мову проектували для машинно-незалежного програмування. Програма написана мовою C може легко компілюватися на великій кількості апаратних платформ та операційних систем з мінімальними змінами. Мова стала доступною для великої кількості платформ - від вбудованих мікроконтролерів до суперкомп'ютерів.

Проаналізувавши описані вище мови програмування, було обрано C# як мову для розробки графічного інтерфейсу та C для розробки самої системи.

Найпопулярнішими середовищами розробки на мовах C# та C є Visual Studio та CLion. Інтегроване середовище розробки (IDE) є інструментом, який дозволяє розробнику прикладних програм виконати повний цикл розробки програмного забезпечення. Цей цикл включає проектування, кодування, компіляцію, тестування, налагодження та упаковку програмного забезпечення прикладної програми.

CLion – кросплатформений засіб програмування C/C++, розроблений компанією JetBrains. Перевагами даного продукту є:

- зручна навігація;
- автодоповнення з фільтрацією за типом використання;
- автоформатування коду та налаштування стилів;
- велика кількість “гарячих клавіш” майже для всіх дій та команд;
- зручний пошук використання символу;
- впроваджена система закладок;
- інтегрований відладчик коду;
- швидкий аналіз коду;
- підтримка автоматичної генерації коду та рефакторингу.

Недоліком CLion IDE є те, що його не має у вільному доступі і для його використання необхідно придбати ліцензію.

Іншим зручним інтегрованим середовищем розробки на мовах C# та C є Visual Studio.

Visual Studio – це набір інструментів розробки, заснованих на використанні компонентів, і інших технологій для створення потужних, продуктивних додатків.

Visual Studio IDE дозволяє розробляти як консольні програми, так і програми з графічним інтерфейсом, в тому числі з підтримкою технології Windows Forms, а також веб-сайти, веб-додатки, веб-служби.

За допомогою Windows Forms може бути створений зручний інтерфейс користувача. Графічний інтерфейс користувача відіграє важливу роль у розробці програмного продукту. Саме GUI вирішує наскільки вдалим буде вихідний продукт. Розробку графічного інтерфейсу спрямовано виключно на два фактори: простота та нативність.

Середовище Visual Studio було обрано на основі деяких його зручних особливостей:

- приємний інтерфейс редактора коду, що підсвічує необхідну інформацію (типи, ключові слова, важливі для роботи об'єкти) різними кольорами;
- зручна система підказок при управлінні проектами і їх налаштуванні, редагуванні початкового коду, перегляді початкового коду, а також потужні засоби відладки;
- компілятор підтримує як традиційну розробку з використанням машинного коду, так і розробку з використанням платформ віртуальних машин
- гнучка система пошуку елементів програми;
- зрозумілі повідомлення про помилки;
- висока швидкість створення додатків з графічним інтерфейсом;
- вбудований термінал для тестування програмного продукту.

База даних системи була створена з допомогою системи керування базами даних MySQL. Це одна із основних СКБД для створення баз даних веб-ресурсів.

MySQL – система керування базами даних (СКБД), що забезпечує користувачам можливість створення, збереження, оновлення, пошук інформації та контролю доступу в базах даних. Цю систему управління базами даних з відкритим кодом було створено як альтернативу комерційним системам. Вона використовується, у першу чергу, для створення динамічних веб-сторінок, оскільки має чудову підтримку з боку різноманітних мов програмування.

Серед переваг MySQL можна виділити наступні:

- підтримує велику кількість типів таблиць;
- простота у встановленні та використанні;
- підтримується необмежена кількість користувачів, що працюють

одночасно;

- підтримує транзакції на рівні окремих записів;
- простота у встановленні та використанні;
- кількість рядків у таблицях може досягати 50 млн;
- присутня проста та ефективна системи безпеки.

Для розуміння принципів функціонування сервера, необхідно мати уявлення про сумісну роботу різних компонентів MySQL. На рисунку 3.10 показана логічна архітектура MySQL.

На верхньому рівні містяться служби, які не є унікальними для MySQL. Ці служби необхідні більшості мережесих клієнт-серверних інструментів і серверів: вони забезпечують підтримку з'єднань, ідентифікацію, безпеку і т. п. [25]

На другому рівні знаходяться синтаксичний аналіз запитів, оптимізація, кешування і всі вбудовані функції (наприклад, функції роботи з датами і часом, математичні функції, шифрування). [25]

Третій рівень містить підсистеми зберігання даних. Вони відповідають за збереження і вилучення всіх даних, що зберігаються в MySQL. [25]

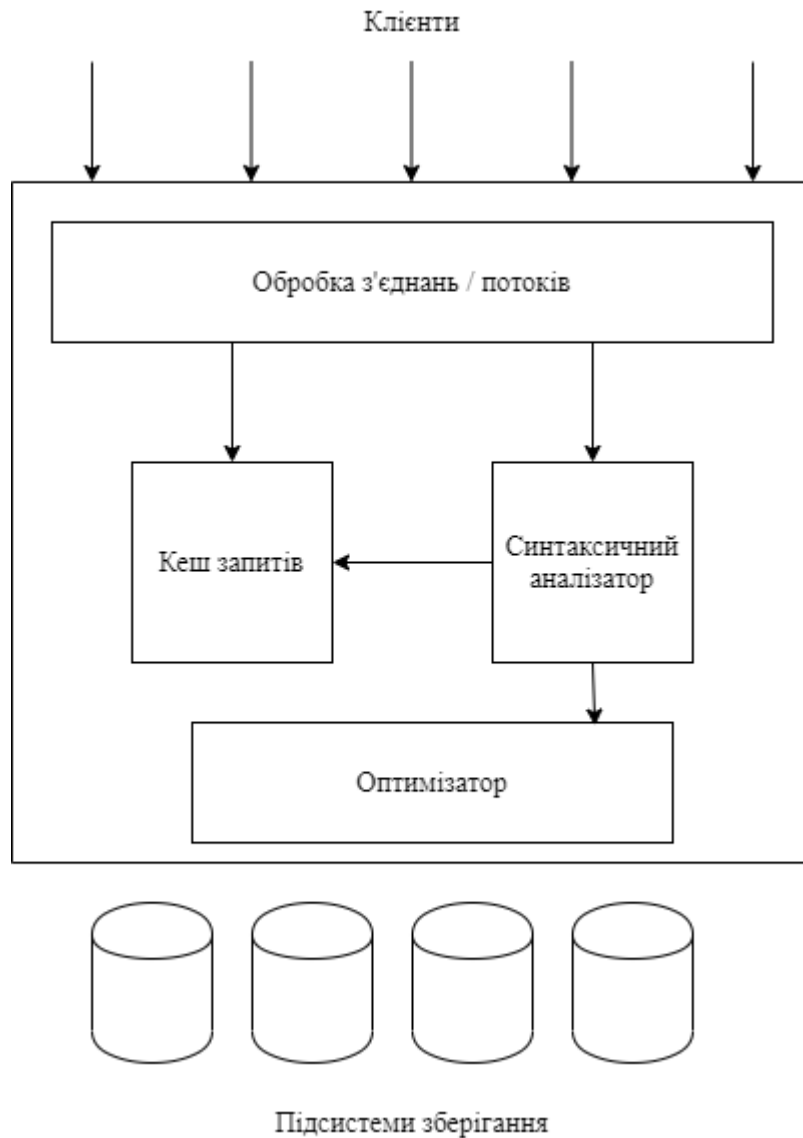


Рисунок 3.10 – Логічна архітектура сервера MySQL

Для розробки програмного продукту було обрано MySQL в ролі СКБД. База даних була створена за допомогою менеджера баз даних – PhpMyAdmin. Даний менеджер входить до складу збірки віртуального веб-сервера XAMPP.

3.3 Аналіз вимог до функціонального забезпечення програми

Вимоги до програмного забезпечення — набір вимог щодо властивостей, якості та функцій програмного забезпечення, яке знаходиться у розробці.

Вимоги поділяються на 3 рівні:

- вимоги користувача;

- системні вимоги;
- специфікації дизайну програмного забезпечення.

Вимоги користувача — це абстрактні ствердження, написані на природній мові. Вони супроводжуються неформальними діаграмами, які вказують, на те, які послуги очікуються від системи.

Системні вимоги — це детальний опис послуг та обмежень. Системні вимоги іноді називають функціональною специфікацією або технічним додатком. Ці вимоги походять від аналізу вимог користувача. Вони виступають як договір між замовником та підрядником, тому вони повинні бути структурованими і точними.

Нарешті, специфікації дизайну програмного забезпечення виходять із аналізу та проектування документації, що використовується як основа для впровадження розробниками.

Аналіз вимог полягає в визначенні потреб та умов, які висуваються щодо нового, чи зміненого продукту.

Аналіз вимог є критичним для успішної розробки проекту. Вимоги мають бути задокументованими, вимірними, пов'язаними з потребами, і описаними з рівнем деталізації достатнім для конструювання системи.

Функціональні вимоги описують послуги, які система повинна надавати а також обмеження на дані і реакцію системи при їхньому виконанні. Специфікація функціональних вимог — опис функцій та їхніх властивостей, які не містять у собі протиріч і виключень.

Для системи, що розробляється були сформульовані наступні функціональні вимоги:

- 1) створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу;
- 2) створення зрозумілих та зручних форм робіт з інформацією;
- 3) точність розрахунку та виведення інформації за визначеними запитам;
- 4) захист від некоректного введення інформації;
- 5) забезпечувати роздруківку та збереження отриманих графіків;
- 6) забезпечувати функції резервного збереження та відновлення даних.

3.4 Вимоги до програмно-технічного забезпечення

Створена автоматична система розробки захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями є досить ресурсномісткою, і апаратне забезпечення, на якому вона може бути запущена, повинно відповідати високим вимогам.

Обов'язковими характеристиками комплексу програмно-технічного забезпечення є:

- процесор Intel Core i7 з тактовою частотою не менше 2.5 ГГц;
- об'єм оперативної пам'яті від 32 ГБ;
- наявність 4 ГБ вільного місця на жорсткому диску;
- наявність відеокарти MSI GeForce RTX 2080;
- операційна система Windows Server 2012R2 та старше;
- встановлений .NET Core 2.1;
- встановлений MySQL починаючи з версії 8.0.

4. РОБОТА КОРИСТУВАЧА З ПРОГРАМНОЮ СИСТЕМОЮ

Під час створення програмного продукту були використані таблиця констант, яка складається із загальноприйнятих фізичних констант і таблиця коефіцієнтів, яка була надана замовником. Ці таблиці пов'язані з динамічною базою даних, яка будується на основі обраних параметрів.

Перед роботою з програмою користувач має авторизуватися у системі, ввівши ім'ям користувача та пароль (рисунок 4.1).

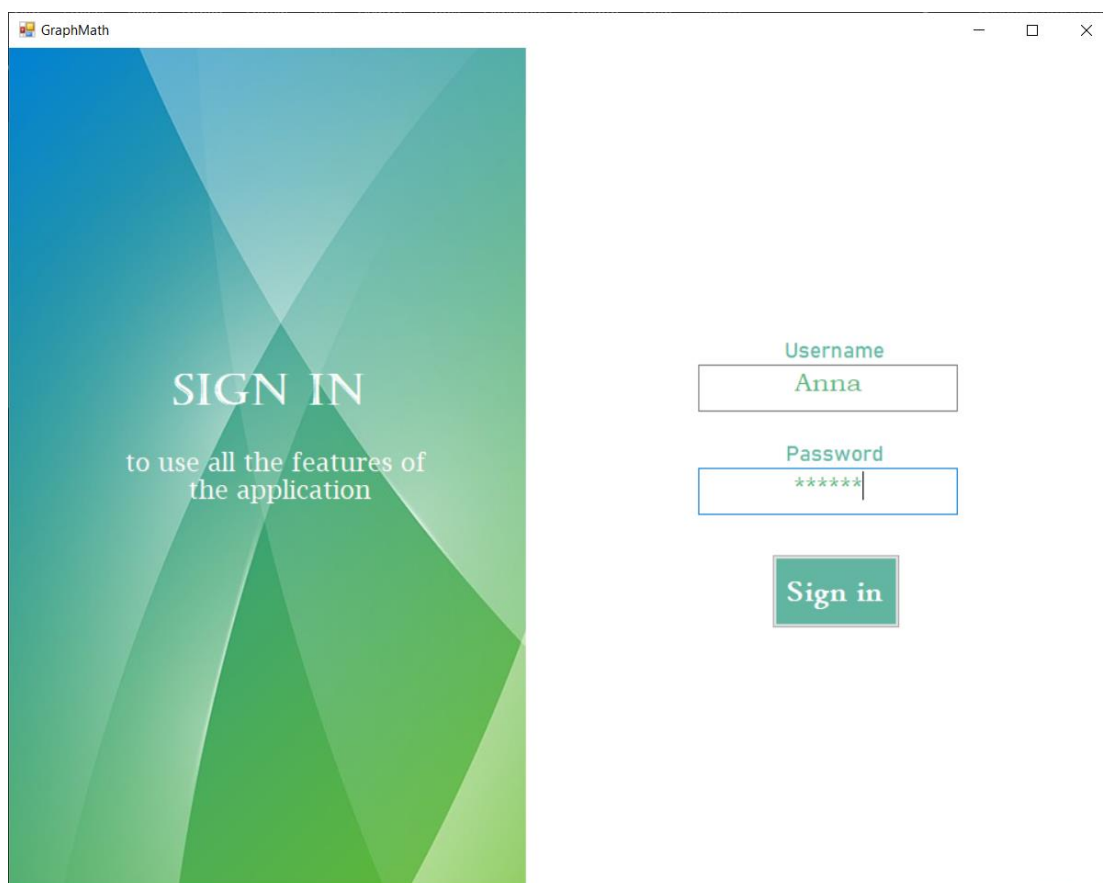


Рисунок 4.1 – Вікно авторизації

Після авторизації користувач потрапляє у меню (рисунок 4.2), звідки він може подивитись історію створених графіків, переглянути улюблені графіки, створити новий або повернутись на сторінку авторизації.



Рисунок 4.2 – Головне вікно програми

При натисканні кнопки “History” користувач переходить на сторінку, де він може переглянути всі створені ним графіки (рисунок 4.3).

Якщо користувач перейде до вкладки “Favourite” (рисунок 4.4), то він зможе переглянути усі графіки, що йому сподобались.

Якщо користувач хоче створити новий графік, йому необхідно натиснути кнопку “Create new plot”. Тоді на наступному етапі йому треба вибрати тип графіку, який він хоче отримати. Його вибір може варіюватися між діаграмою, гістограмою або трьохвимірною діаграмою (рисунок 4.5).

Далі користувач повинен ввести параметри виводу та параметри вводу. В залежності від обраних варіантів, результатом роботи програми можуть бути графіки, зображені на рисунках 4.6. – 4.10.

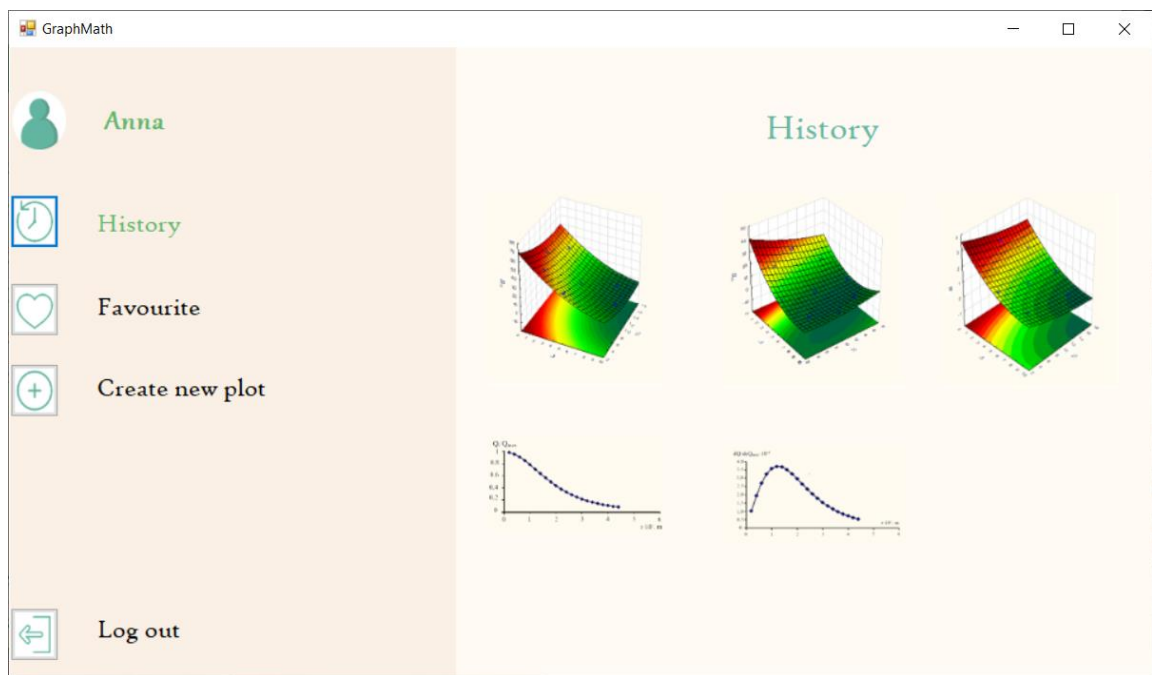


Рисунок 4.3 – Вікно перегляду історії

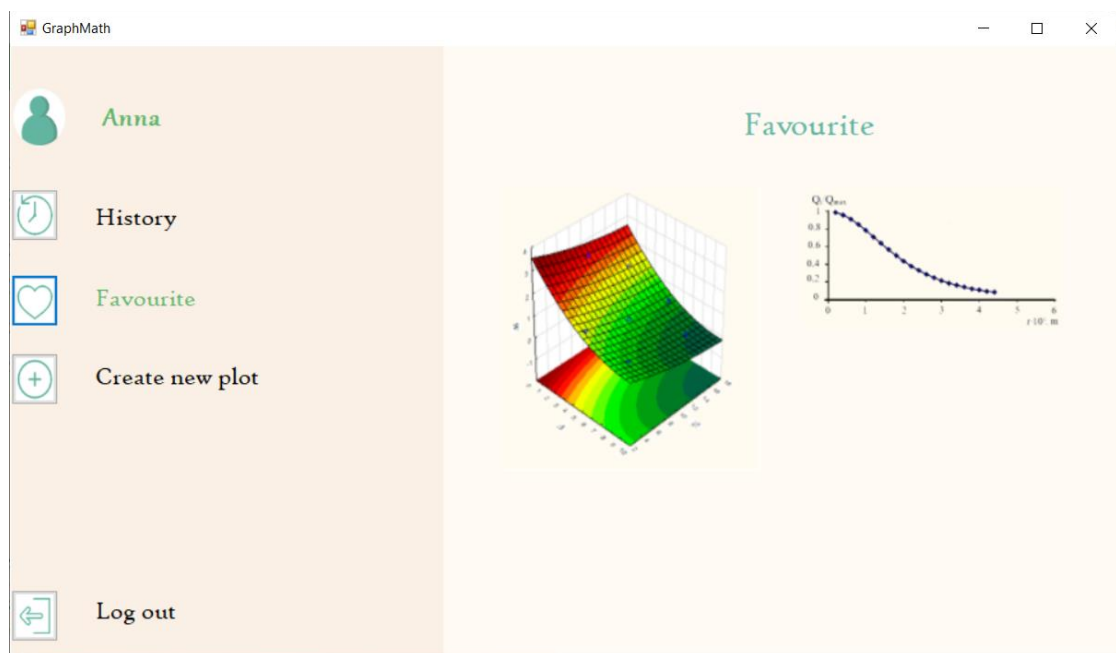


Рисунок 4.4 – Вікно перегляду улюблених графіків

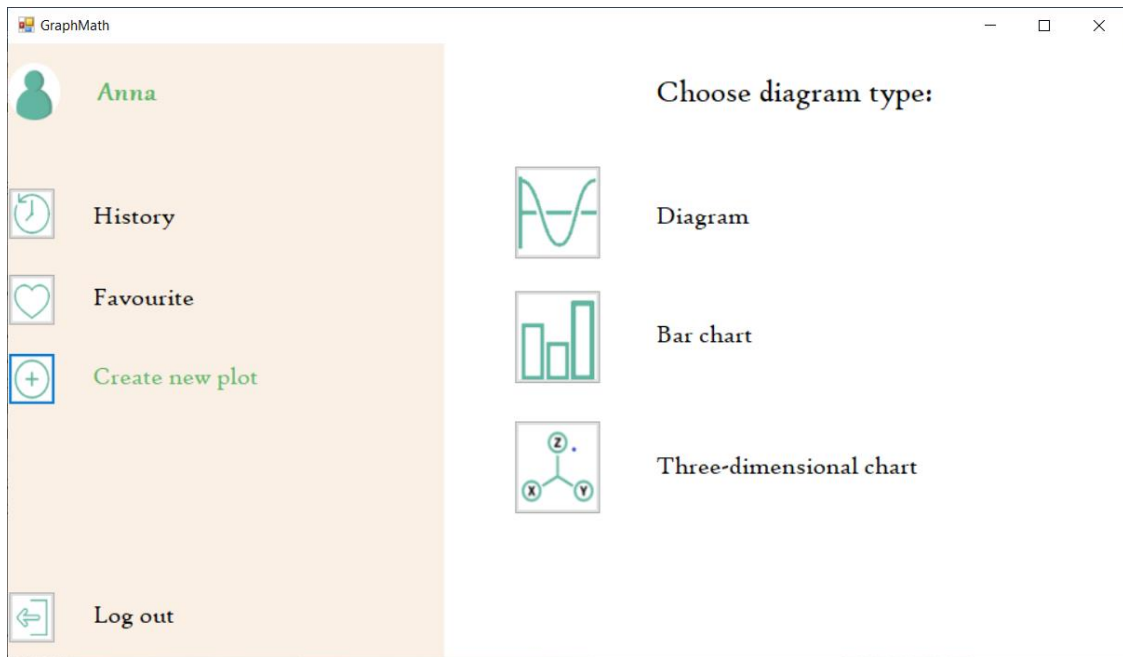


Рисунок 4.5 – Вікно вибору типу графіка

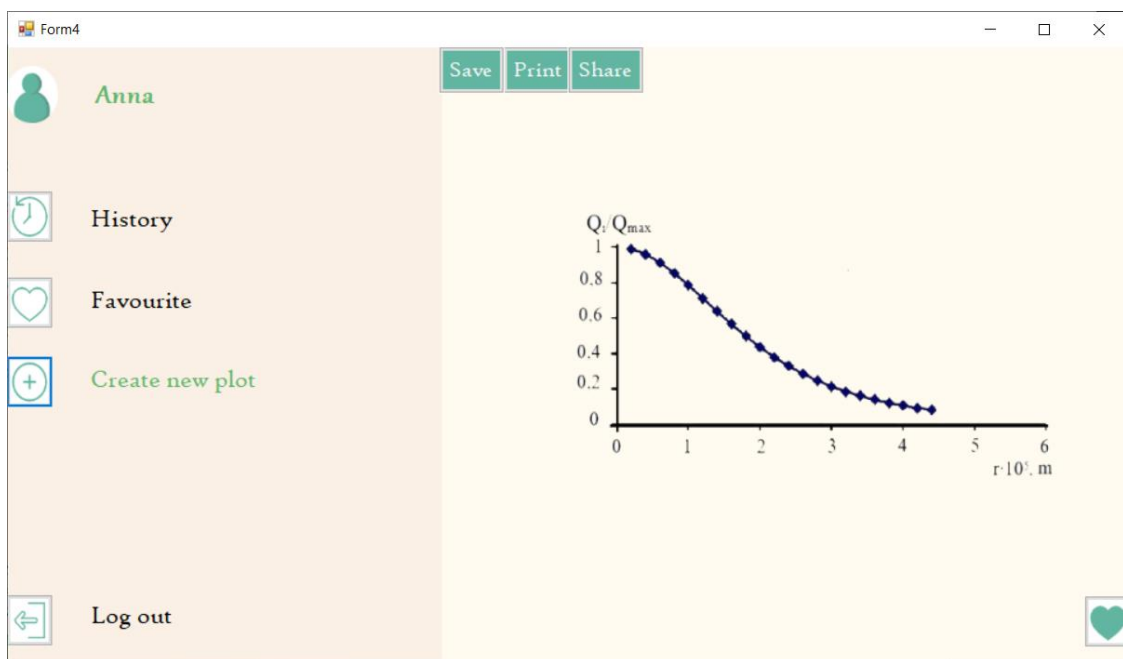


Рисунок 4.6 – Перший приклад роботи програми (двохвимірний графік)

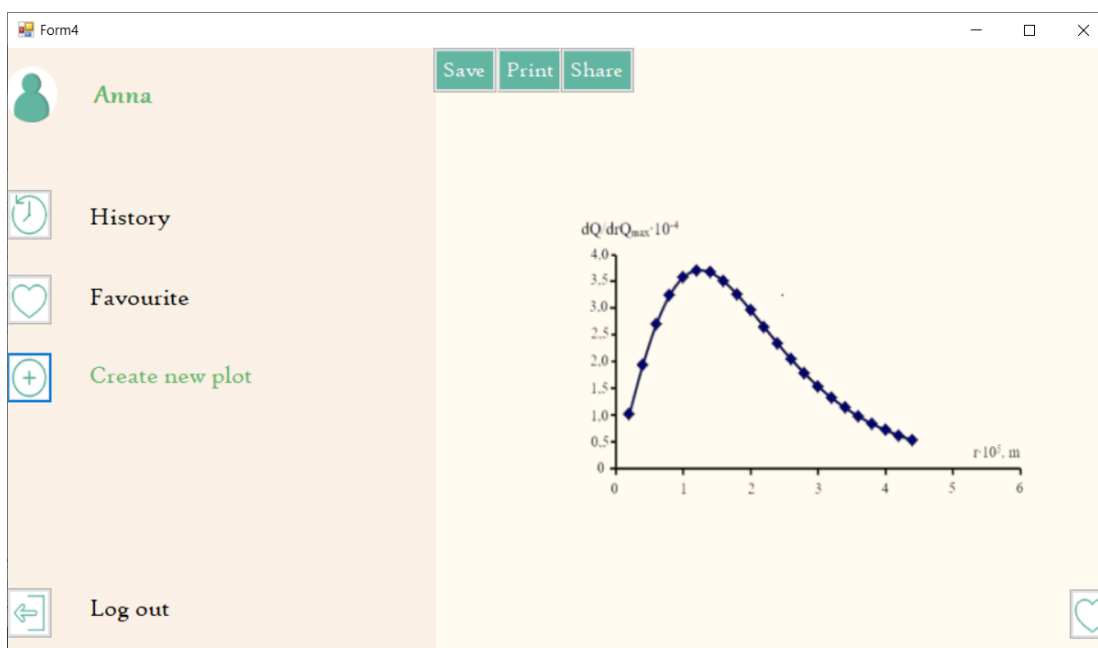


Рисунок 4.7 – Другий приклад роботи програми (двохвимірний графік)

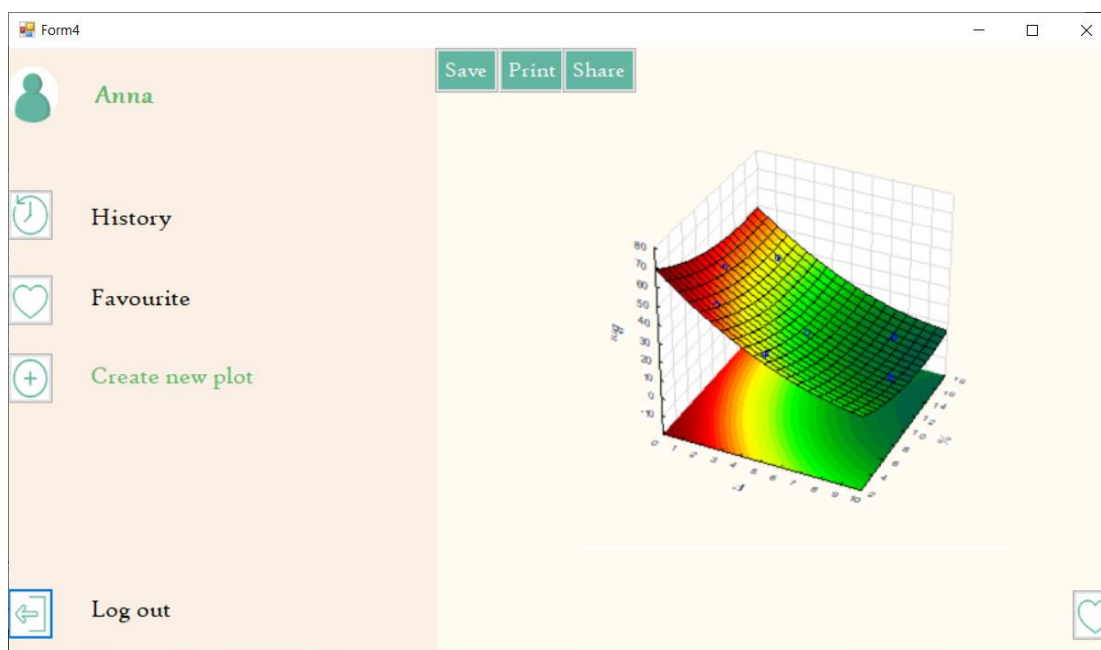


Рисунок 4.8 – Третій приклад роботи програми (трьохвимірний графік)

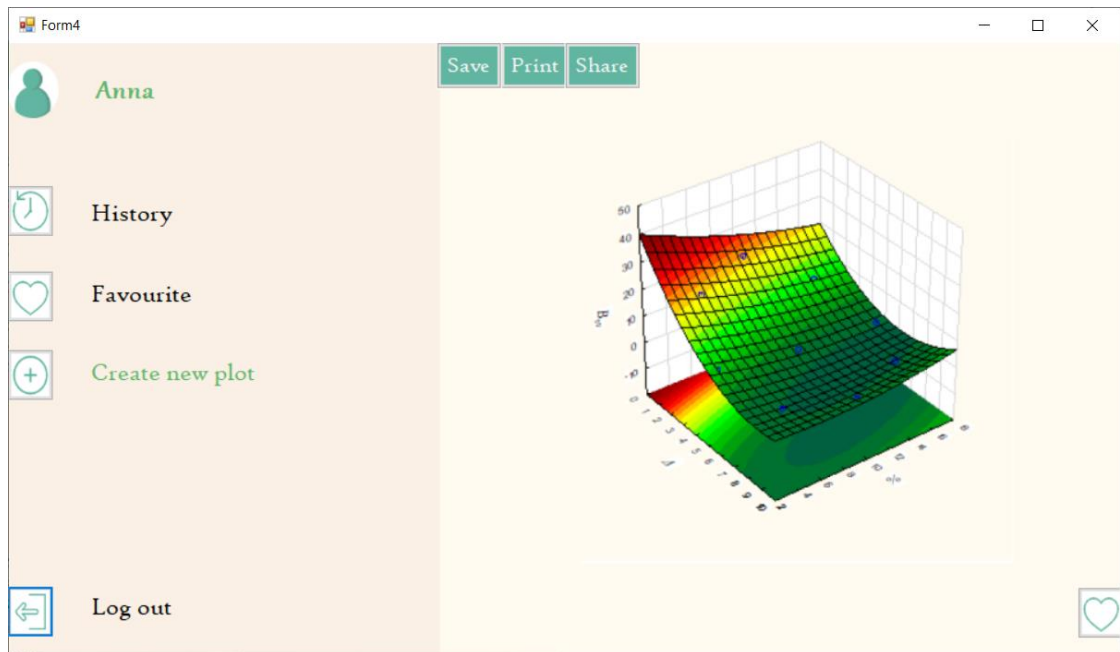


Рисунок 4.9 – Четвертий приклад роботи програми (трьохвимірний графік)

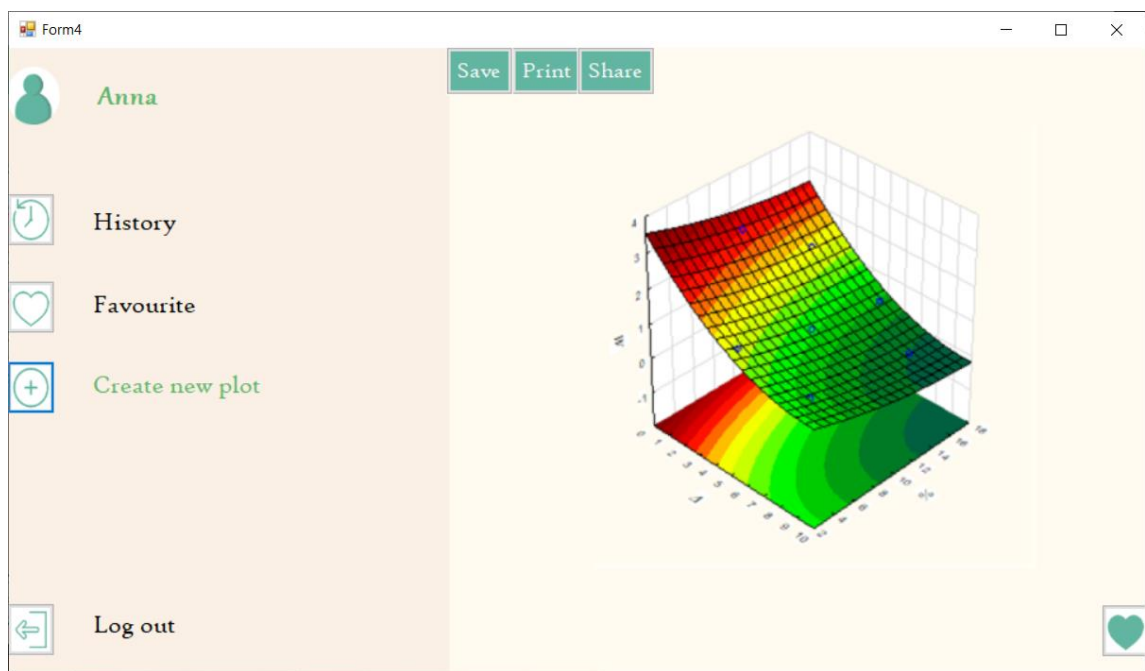


Рисунок 4.10 – П'ятий приклад роботи програми (трьохвимірний графік)

Створений програмний продукт призначений для вузького кола спеціалістів, тому має можливість додаткового розширення та опису інтерфейсу.

ВИСНОВКИ

Дана дипломна робота присвячена створенню програмного продукту, який розраховує захисні екрани на основі введених параметрів. Результатом роботи програми є відповідні дво- або трьохвимірні графіки.

У результаті виконання дипломної роботи були отримані такі результати:

1. Було проаналізовано актуальність даної роботи.
2. Були здобуті навички роботи зі спеціальною технічною і науковою літературою та правилами оформлення технічної документації з програмного забезпечення. Було розглянуто та описано літературні джерела та наукові розробки, пов'язані з темою електромагнітних полів та захисних екранів.
3. Було проведено передпроектне обстеження предметної області. Було проаналізовано основні вимоги до програмного забезпечення. Була проаналізована математична модель програми та створена діаграма прецедентів.
4. Для реалізації програмного продукту було порівняно можливості мов програмування та середовищ розробки.
5. Було створено 5 основних модулів програмного продукту:
 - модуль аутентифікації користувача;
 - модуль вибору необхідних вхідних параметрів;
 - модуль розрахунків;
 - модуль пошуку оптимумів у графіках модифікованим симплекс методом;
 - модуль побудови графіки за обчисленими даними.
6. Був розроблений інтуїтивно зрозумілий та зручний інтерфейс користувача.
7. Була створена інструкція користувача.
8. Було отримано досвід в розробницькій та науковій діяльності. Було прийнято участь в апробації створеної програми на реальних прикладах. Результати даної апробації показали відхилення теоретичних та практичних досліджень не більш ніж на 15 відсотків, що є нормальним результатом в даних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Patil N., Velhal N.B., Pawar R., Puri V. Electric, magnetic and high frequency properties of screen printed ferrite-ferroelectric composite thick films on alumina substrate. *Microelectronics International*. 2015. Vol. 32. Iss. 1. PP. 25–31.
2. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021:EN:PDF>.
3. Bandara P., Carpenter D.O. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *The Lancet Planetary Health*. 2018. Vol. 2, Iss. 12. PP. e512– e514. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30221](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30221).
4. Аль-Адеми Я. Т. А., Ахмед А. А. А., Пулко Т. А., Насонова Н. В., Лыньков Л. Н. Широкодиапазонные конструкции экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащей целлюлозы. *Труды МАИ*. 2014. № 77. С. 1–15.
5. Полевиков В. К., Ерофеев В. Т. Численное моделирование взаимодействия магнитного поля с цилиндрическим слоем магнитной жидкости. *Информатика*. 2017. № 2(54). С. 5–14.
6. Mondal S., Ganguly S., Das P., Khastgir D., Das N.C. Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 119. P. 41–56. DOI:10.1016/j.compositesb.2017.03.022.
7. Yadav R. S., Kuritka I., Vilcakova J., Machovsky M., Skoda D., Urbanek P., Masar G., Kalina L., Havlica J. Polypropylene Nanocomposite Filled with Spinel Ferrite NiFe₂O₄ Nanoparticles and In-Situ Thermally-Reduced Graphene Oxide for Electromagnetic Interference Shielding Application. *Nanomaterials*. 2019. Vol. 9. P. 621. DOI: 10.3390/nano9040621.

8. Jianjun Li, Liang Li, Min Wan, Haiping Yu, Lin Liu. Innovation applications of electromagnetic forming and its fundamental problems. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 15. PP. 14–30.
9. Glyva V., Barabash O., Kasatkina N., Katsman M., Levchenko L., Tykhenko O., Nikolaiev K., Panova O., Khalmuradov B., Khodakovskyy O. Studying the shielding of an electromagnetic field by a textile material containing ferromagnetic nanostructures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 1, № 10(103). PP. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.195232>.
10. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 6/5 (96). P. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150778>.
11. Гребенников М. А., Зиличихис С. Д., Стебельков И. А. Физика и технология упрочнения деталей в поле ультразвука. *Вестник двигателестроения*. 2013. № 1. С. 72–74
12. Han Qingyou. Ultrasonic Processing of Materials. *Metallurgical and Materials Transactions*. 2015. Vol. 46 B. PP. 1603–1614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-014-0266-x>.
13. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN. 2015. 2 p. URL: <https://buildingbiology.com/site/wp-content/uploads/standard-2015-englisch.pdf>
14. В.Н. Ашихмин, М.Б. Гитман, Н.Э. Келлер, О.Б. Наймарк, В.Ю. Столбов, П.В. Трусов, П.Г. Фрик. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / / Под ред. П.В. Трусова. — М.: Университетская книга, Логос, 2007. - 440 с.
15. Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., А.В.Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем: підручник / –Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. – 804 с.

16. Bhattacharjee S. Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation / S. Bhattacharjee // Electronic and Electric Engineering.- 2014.-Vol. 4. – P. 375 – 380.
17. Резинкина М.М. Использование численных расчётов для выбора средств экранирования от действия магнитных полей / М.М. Резинкина // Журнал технической физики, 2007. – Т.77. – № 11. – С. 17 – 24.
18. Назаренко М.В. Розрахункові методи визначення захисних властивостей електромагнітних екранів / М.В. Назаренко, О.М. Гончарова, О.В. Панова // Проблеми охорони праці в Україні. ДУ «ННДІПБОП». – К.: 2012. – Вип. 23. – С. 84–89.
19. Ходаковский А.В., Малыгин Б.В. Применение автоматизированных систем управления режимом магнитноимпульсной обработки. Матеріали четвертої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». (MINT - 2012). Том 2, -Херсон-2012. с.127-130.
20. Аполлонский С.М. Справочник по расчёту электромагнитных экранов / С.М. Аполлонский – Л.: Энергоатом-издат, 1998. – 224 с.
21. Glyva V., Podkopaev S., L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018, Iss. 1/5 (91). PP. 10–17.
22. Буч Г., Рамбо Дж., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.: Пер. с англ. Мухин Н. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 496 с.
23. Леоненков А. Самоучитель UML. 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 432 с.
24. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования Си: Пер. с англ., – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. — С. 304.
25. Шварц Б., Зайцев П., Ткаченко В., Заводны Дж., Ленц А., Бэллинг Д. MySQL. Оптимизация производительности, 2-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 832 с.

ДОДАТОК 1

Автоматична система розрахунку захисного екрану на основі залізорудного
пилу із заданими властивостями

Специфікація

УКР.НТУУ"КПІ ім. Ігоря Сікорського"_ТЕФ_АПЕПС_ТІ6165_20Б

Аркушів 1

Київ – 2020

Позначення	Найменування	Примітки
Документація		
УКР.НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕ ПС_ТІ6165_20Б	ТІ- 61_Козачук_Анна_за писка.docx	Пояснювальна записка
Компоненти		
УКР.НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕ ПС_ТІ6165_20Б	authentication.sln	Модуль авторизації
УКР.НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕ ПС_ТІ6165_20Б	params.sln	Модуль вибору параметрів
УКР.НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕ ПС_ТІ6165_20Б	calculations.c	Модуль розрахунків
УКР.НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕ ПС_ТІ6165_20Б	simplex.c	Модуль пошуку оптимумів у графіках модифікованим симплекс методом
УКР.НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕ ПС_ТІ6165_20Б	graph.c	Модуль побудови графіки за обчисленими даними

ДОДАТОК 2

Автоматична система розрахунку захисного екрану на основі залізорудного
пилу із заданими властивостями

Текст програми

УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕПС_ТІ6165_20Б

Аркушів 7

Київ – 2020

```

Ams=zeros(4,4); // Матрица накопления результата
kgm=30;// Число циклов осреднения
for kg=1:kgm;
indp=2;// Ключик режима

//----- идентификация -----
// Объект dx/dt=Ax+Bu+Gq
nk=200; // Число шагов построения процесса
Xz=zeros(nk,4); Yz= Xz;// Рабочие матрицы усреднения
A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1; -1 -4 -6 -4];//Матрица объекта
B=[0 0;0 0;0 0;0 1];//Матрица управления
delt=0.05; // -шаг процедуры по времени
sxs=1; //Глубина стека для скользящего среднего
kds=10; //Шаг среднего
for isrd=1:50;//Цикл накопления информации
for trn=1:nk;//Цикл построения переходного процесса
// -----Установка начальных условий -----
u=[0 0]; // -управление
x=[1 0 0 0];//-начальное состояние
x=x';u=u'; // - вектор столбец
y=[0 0 0 0];y=y';// - начальные скорости
Ax=zeros(4,4); Am=Ax;
Z=zeros(nk,4);Zs=Z;// Матрицы накопления вектора состояния
R=0+0.1.*randn(nk,4)/50;//Генератор возмущений
s=[0 0 0 0]; s=s'; st=[0 0 0 0]; st=st';// Рабочие вектора
//----- Модель объекта -----
for i=1:nk;// по всему процессу
y=x+A*x*delt+B*u*delt;// Модель в пространстве состояний

```

```

        j=1:4;Z(i,j)=x(j); Zs(i,j)=(y(j)-x(j))/delt; x=y;// Оценка производной
    end

    //-----

end// Цикла построения переходного процесса
Xz=Xz+Z+R; Yz=Yz+Zs+R; //Учет возмущений
        // if isrd==2; jt=1:1:nk;
            // plot(jt,Xz/2); end;// Показать процесс
        // if isrd==2; jt=1:1:nk;
            // plot(jt,Yz/2); end;// Показать оценку производной
end;//Цикла накопления информации
Z=Xz/isrd; Zs=Yz/isrd;//Усредненные данные по выбегам
        // j=1:1:nk;plot(j,R);//Показать помехи
        //j=1:1:nk;plot(j,Z);//Показать процесс после осреднения
        // j=1:1:nk;plot(j,Zs);//Показать производные после осреднения

//-----Фильтрация шума измерения-----

rzo=[0 0 0 0];rzzo=rzo; //Рабочие вектора
for kjj=1:nk-kds;//Накопление усредненных реализаций
    rz=rzo;rzz=rzzo; //Обнулил рабочие вектора
for kii=1:kds;// суммирование на глубину среднего
    il=1:4;rz(il)=rz(il)+Z(kjj+kii,il); // Сумма компонентов вектора состояния
    il=1:4; rzz(il)=rzz(il)+Zs(kjj+kii,il); //Сумма компонентов вектра производной
    iii=1:4;Z(kjj,iii)=rz(iii)/kds; Zs(kjj,iii)=rzz(iii)/kds;//Присвоение среднего
end
end

        // j=1:1:nk;plot(j,Z);//Показать переходный процесс
        // j=1:1:nk;plot(j,Zs);//Показать производные

//-----Идентификация матрицы объекта-----

n0=10;

```

```

for n=1:4
    k=1:4; nkn=k*n0; yc(k)=Zs(nkn+k,n); //Загрузка компонент производной
    i=1:4;nkn=i*n0; //Формирования вектора смещения
    j=1:4;Ax(i,j)=Z(nkn+i,j); //Формирование матрицы отсчетов
    ert=det(Ax); //Определение детерминанта матрицы отсчетов
    r=Ax\yc'; // Определение строки матрицы модели
    kk=1:4;Am(n,kk)=r(kk); //Формирование матрицы объекта модели
end
Ams=Ams+Am; //Накопление
Ams/kg
end
for kkk=1:4;
for rim=1:4;pda(trn,rim+kkk)=Ams(kkk,rim)/trn-A(kkk,rim);end
end
//-----
Am=Ams/kgm //Матрица объекта для модели

//-----Идентификация матрицы управления-----
x=[0 0 0 0];x=x'; //Снимаем разгон
u=[1 0] //По первой компоненте управления
y=x;u=u';
Bm=B

//----- Модель объекта -----
for i=1:nk; // по всему процессу
    y=x+A*x*delt+B*u*delt; // Модель в пространстве состояний
    j=1:4;Z(i,j)=x(j); Zs(i,j)=(y(j)-x(j))/delt; x=y; // Оценка производной
end
//-----
rk=nk-10;

```

```

j=1:1:nk;plot(j,Z); //Показать переходный процесс
k=1:4; x(k)=Z(rk,k); y(k)=Zs(rk,k);
xs1=y-Am*x;

//-----Идентификация матрицы управления-----
x=[0 0 0 0];x=x'; //Снимаем разгон
u=[0 1]; //По первой компоненте управления
y=x;u=u';

//----- Модель объекта -----
for i=1:nk; // по всему процессу
    y=x+A*x*delt+B*u*delt; // Модель в пространстве состояний
    j=1:4;Z(i,j)=x(j); Zs(i,j)=(y(j)-x(j))/delt; x=y; // Оценка производной
end
//-----
rk=nk-10;
j=1:1:nk;plot(j,Z); //Показать переходный процесс
k=1:4; x(k)=Z(rk,k); y(k)=Zs(rk,k);
xs2=y-Am*x;
i=1:4;Bm(i,1)=xs1(i);Bm(i,2)=xs2(i);
Bm

//----- Функция цели -----
Q=zeros(200,200);
G=zeros(200,1);
F=zeros(200,1);
for it=1:200;t=(it-1)/100;G(it)=100.018+12.4446*t-13.19*t^2+7.2822*t^3-
1.85*t^4;G(it)=G(it)/104.9;end
for ih=1:200;h=(ih-1)*5;F(ih)=110.39818+0.13*h-0.0006517*h^2+1.32*(h^3)*(10^-6);
F(ih)=F(ih)-1.195*(10^-9)*h^4+3.9*(10^-13)*h^5;F(ih)=F(ih)/119;end

```

```

i=1:200;plot(i,G);
i=1:200;plot(i,F);
for j=1:200;
    for i=1:200;
        Q(i,j)=G(i)+F(j);
    end;
end;
surf(Q+0.1)
contour(Q,20)

//----- Оптимизация -----

x=[0 0]; xs=[0 0]; deltaX=[0.01 1]
for k=1:100;
    x=[0 0];
    z=fc(x)
function fp=fc(x)
t=x(1); h=x(2);
f=110.39818+0.13*h-0.0006517*h^2+1.32*(h^3)*(10^-6);
f=f-1.195*(10^-9)*h^4+3.9*(10^-13)*h^5;f=f/119;
g=100.018+12.4446*t-13.19*t^2+7.2822*t^3-1.85*t^4;g=g/104.9;
fp=f+g;
end

//----- Функция цели -----

//main program
script
Q=zeros(200,200);
G=zeros(200,1);
F=zeros(200,1);

```



```

for it=1:200;t=(it-1)/100;G(it)=100.018+12.4446*t-13.19*t^2+7.2822*t^3-
1.85*t^4;G(it)=G(it)/104.9;end
for ih=1:200;h=(ih-1)*5;F(ih)=110.39818+0.13*h-0.0006517*h^2+1.32*(h^3)*(10^-6);
    F(ih)=F(ih)-1.195*(10^-9)*h^4+3.9*(10^-13)*h^5;F(ih)=F(ih)/119;end
//i=1:200;plot(i,G);
//i=1:200;plot(i,F);
for j=1:200;
    for i=1:200;
        Q(i,j)=G(i)+F(j);
    end;
end;
//surf(Q+0.1)
//contour(Q,20)

//----- Оптимизация -----
FU=zeros(200,200);
x=[0 0]; xs=[0 0]; deltaX=[0.01 0]; deltaY=[0 2]; delX=0.02; delY=1;
// ZZ =zeros(100,2);
    for i=1:500;
        xsx=x+deltaX;
        xsy=x+deltaY;
        gradF_X1=(fc(xsx)-fc(x))/delX;
        gradF_Y1=(fc(xsy)-fc(x))/delY;
        grd(1)=gradF_X1;
        grd(2)=gradF_Y1;
        xs=x+grd;
        x=xs;
        ix=round(x(1)*100+1)
        iy=round(x(2)/5+1)
        z=fc(x);
    end

```

```
FU(ix,iy)=z;  
    end  
i=1:200;  
j=1:200;  
if FU(i,j)>0; FU(i,j)=1; end  
  
surf(FU)
```

ДОДАТОК 3

Автоматична система розрахунку захисного екрану на основі залізорудного
пилу із заданими властивостями

Опис програми

УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕПС_ТІ61_20Б

Аркушів 7

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Дана дипломна робота присвячена створенню програмного продукту, який розраховує захисні екрани на основі введених параметрів. Результатом роботи програми є відповідні дво- або трьохвимірні графіки.

Для розробки системи було використано середовище розробки Microsoft Visual Studio, мови програмування C# та C, система керування базами даних MySQL та веб-сервер XAMPP.

ЗМІСТ

1. Загальні відомості	4
2. Функціональне призначення	5
3. Опис логічної структури.....	6
4. Використовувані технічні засоби, виклик і завантаження.....	7
5. Вхідні і вихідні дані	8

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Програмний продукт призначений для розрахунки захисних екранів на основі залізорудного пилу, враховуючи параметри, які вводить користувач системи.

Створена автоматична система розробки захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями є досить ресурсномісткою, і апаратне забезпечення, на якому вона може бути запущена, повинно відповідати високим вимогам.

Обов'язковими характеристиками комплексу програмно-технічного забезпечення є:

- процесор Intel Core i7 з тактовою частотою не менше 2.5 ГГц;
- об'єм оперативної пам'яті від 32 ГБ;
- наявність 4 ГБ вільного місця на жорсткому диску;
- наявність відеокарти MSI GeForce RTX 2080;
- операційна система Windows Server 2012R2 та старше;
- встановлений .NET Core 2.1;
- встановлений MySQL починаючи з версії 8.0.

Система була написана на мовах програмування C# та C в інтегрованому середовищі розробки Microsoft Visual Studio. Для розробки програмного продукту було обрано MySQL в ролі системи керування базами даних. База даних була створена за допомогою менеджера баз даних – PhpMyAdmin, який входить до складу збірки віртуального веб-сервера XAMPP.

2. ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ

В процесі розробки автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями було розроблено наступні 5 модулів:

- авторизацію користувача;
- модуль вибору необхідних вхідних параметрів;
- модуль розрахунків;
- модуль пошуку оптимумів у графіках модифікованим симплекс методом;
- модуль побудови графіки за обчисленими даними.

3. ОПИС ЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ

В процесі розробки автоматичної системи розрахунку захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями було розроблено наступні 5 модулів:

- авторизацію користувача;
- модуль вибору необхідних вхідних параметрів;
- модуль розрахунків;
- модуль пошуку оптимумів у графіках модифікованим симплекс методом;
- модуль побудови графіки за обчисленими даними.

Під час створення програмного продукту були використані таблиця констант, яка складається із загальноприйнятих фізичних констант і таблиця коефіцієнтів, яка була надана замовником. Ці таблиці пов'язані з динамічною базою даних, яка будується на основі обраних параметрів.

4. ВИКОРИСТОВУВАНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, ВИКЛИК І ЗАВАНТАЖЕННЯ

Програмний продукт розроблений для вузького кола спеціалістів. Створена автоматична система розробки захисного екрану на основі залізорудного пилу із заданими властивостями є досить ресурсномісткою, і апаратне забезпечення, на якому вона може бути запущена, повинно відповідати високим вимогам.

Обов'язковими характеристиками комплексу програмно-технічного забезпечення є:

- процесор Intel Core i7 з тактовою частотою не менше 2.5 ГГц;
- об'єм оперативної пам'яті від 32 ГБ;
- наявність 4 ГБ вільного місця на жорсткому диску;
- наявність відеокарти MSI GeForce RTX 2080;
- операційна система Windows Server 2012R2 та старше;
- встановлений .NET Core 2.1;
- встановлений MySQL починаючи з версії 8.0.

5. ВХІДНІ ТА ВИХІДНІ ДАНІ

Вхідним даними є дані користувача (ім'я користувача та пароль) та параметри для розрахунку екрану.

Вихідними даними є отримані графіки та графічне відображення інтерфейсу користувача.